

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA ROBOTIKY

BAKALÁŘSKA PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Konstrukční návrh výukového pracoviště s dvojicí robotů

Mitsubishi

Design of the Educational Robotic Cell with a Pair of Mitsubishi Industrial
Robots

Student:

Jiří Klus

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jakub Mlotek

Ostrava 2020

Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Klus**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Téma: **Konstrukční návrh výukového pracoviště s dvojicí robotů Mitsubishi**
Design of the Educational Robotic Cell with a Pair of Mitsubishi
Industrial Robots
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Analýza prostředí pro umístění pracoviště a dostupných robotů.
- 2) Rešerše dostupných řešení výukových pracovišť.
- 3) Variantní řešení výukových pracovišť a výběr optimální varianty.
- 4) Rozpracování vybrané varianty do úrovně detailního 3D modelu.
- 5) Kontrolní výpočty vybraného uzlu.
- 6) Výkresová dokumentace (v zadaném rozsahu), včetně specifikace nakupovaných komponent.
- 7) Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu .pdf a souborů systému CREO.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace/>
- [2] KÁRNÍK, Ladislav. Periferní zařízení RTP. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1221-5.
- [3] SKAŘUPA, Jiří. Kreativita a inovační myšlení v konstruování. Ostrava: VŠB, 2007. ISBN 978-80-248-1717-0.
- [4] RTP – NAVRHOVÁNÍ A PRAKTICKÉ APLIKACE. Katedra robotiky: fakulta strojní VŠB-TU Ostrava [online]. Ostrava [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <http://robot.vsb.cz/file.php/rtp-navrhovani-a-prakticke-aplikace.pdf>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jakub Mlotek**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Michal Vocetka

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 18.5.2020



.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 18.5.2020



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jiří Klus

Adresa trvalého pobytu autora práce: Nebory 52, Třinec

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KLUS, J. Konstrukční návrh výukového robotického pracoviště s dvojicí robotu Mitsubishi: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2020, 97 s. Vedoucí práce Mlotek, J.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout výukové robotické pracoviště. Umístění je ve specifikovaném prostoru na katedře robotiky. Použití roboti jsou ze skladu UCR a jsou to roboti RV-1A a RV-2SD. Pracoviště bude vypracované detailně v rámci 3D modelu, výkresové dokumentace a specifikace nakupovaných komponent. Optimální varianta byla vybrána ze 3 variant, vícekritériální analýzou. Dále byl v práci proveden výpočet na požadovaný utahovací momentem šroubu, jenž slouží ke spojení robotu s hliníkovou deskou.

Klíčová slova: Průmyslový robot, robotické výukové pracoviště, robotická buňka, kontrolér

ANNOTATION OF MASTER THESIS

KLUS, J. Design of the Educational Robotic Cell with a Pair of Mitsubishi industrial Robots: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2020, 97 p. Thesis head: Mlotek, J.

The aim of this bachelor thesis is to design a teaching robotic cell. The location is in a specified area at the Department of Robotics. The robots used are from the UCR warehouse and are the RV-1A and RV-2SD robots. The robotic cell will be developed in detail within the 3D model, drawing documentation and specifications of purchased components. The optimal variant was selected from 3 variants, by multicriteria analysis. Furthermore, the work was calculated on the required tightening torque of the screw, which is used to connect the robot to the aluminium plate.

Key words: Industrial robot, robotic teaching workplace, robotic cell, controller

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jakubu Mlotkovi za jeho pomoc a čas který mi věnoval pro úspěšně dokončení této práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Michalu Vocetkovi za odborné rady a pomoc při tvorbě schémat bezpečnostních okruhu.

Obsah

Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	14
Seznam použitých značek a symbolů	15
Slovník termínů	17
Úvod	18
Požadavky katedry	19
Analýza současného stavu	19
1.1 Analýza prostředí pro umístění robotu.	19
1.2 Popis robotu Mitsubishi.....	20
1.2.1 Robot Mitsubishi RV-1A.....	20
1.2.2 Robot Mitsubishi RV-2SD.....	27
1.3 Výukové úlohy	36
1.3.1 Manipulace s materiálem	36
1.3.2 Kopírování trajektorie (Horký drát).....	37
1.3.3 Obloukové svařování	37
1.4 Výukové pracoviště	38
1.4.1 Výukové pracoviště ABB	38
1.4.2 Výukové pracoviště KUKA.....	39
1.5.1 Výukové pracoviště FANUC	40
1.6 Uspořádání robotu	41
1.6.1 Robotické pracoviště od firmy KUKA	41
1.6.2 Robotické pracoviště od firmy FANUC – svaření hřídele s ozubeným kolem	42
1.6.3 Robotické pracoviště od firmy FANUC	43
1.6.4 Robotické pracoviště s dvojicí robotu KUKA	44
1.7 Konstrukce robotických buněk.....	45
1.8 Bezpečnostní prvky	48
1.8.1 STOP tlačítka	48
1.8.2 Fyzické bariéry.....	48
1.8.3 Magnetické zámky	49
1.8.4 Optoelektrické senzory	49

1.8.5	Laserové skenery	51
2	Požadavkový list.....	52
3	Varianty řešení	53
3.1	Varianta 1	53
3.2	Varianta 2	56
3.2.1	Výpočet bezpečné vzdálenosti EOS4	58
3.3	Varianta 3	59
3.3.1	Výpočet bezpečné vzdálenosti SICK S30A-6011BA.....	61
4	Vícekritériální analýza.....	62
4.1	Mé hodnocení	62
4.1.1	Určení významnosti kritérií	63
4.1.2	Varianta 1	64
4.1.3	Varianta 2.....	64
4.1.4	Varianta 3.....	64
4.2	Hodnocení doktorandů	64
4.3	Hodnocení Ing. Daniela Huczaly	65
4.3.1	Určení významnosti	65
4.3.2	Varianta 1	65
4.3.3	Varianta 2.....	65
4.3.4	Varianta 3.....	66
4.4	Hodnocení Ing. Michala Vocetky.....	66
4.4.1	Určení významnosti	66
4.4.2	Varianta 1	66
4.4.3	Varianta 2.....	67
4.4.4	Varianta 3.....	67
4.5	Zhodnocení	67
5	Popis vybrané varianty	68
5.1	Popis použitých komponent	77
5.1.1	Hliníkový konstrukční systém	77
5.1.2	Úprava stlačeného vzduchu.	77
5.1.3	Magnetické zámky	78
5.1.4	Relé	79
6	Zapojení bezpečnostních okruhu.....	80

6.1	Emergency STOP	81
6.2	AUTO STOP	82
7	Výpočet kontrolního uzlu	83
7.1	Stanovení reakci v ose šroubu	84
7.1.1	Výpočet reakce na Sílu F_V	84
7.1.2	Výpočet reakce na moment R_L	85
7.2	Stanovení reakce kolmých na osu šroubu	85
7.2.1	Výpočet reakce na síly F_{Hx} F_{Hy}	86
7.2.2	Výpočet reakce na krouticí moment M_T	86
7.2.3	Stanovení síly F_p	87
7.2.4	Stanovení předepjaté síly F_0 z radiální provozní síly F_p	88
7.2.5	Výpočet celkové předepjaté síly	88
7.2.6	Pevnostní kontrola šroubu.....	89
7.2.7	Určení bezpečnosti šroubu	90
7.2.8	Výpočet utahovacího momentu	91
	Závěr	92
	Seznam použité literatury	93
	Přílohy.....	96

Seznam obrázků

Obr. 1 Půdorys výklenku	19
Obr. 2 Mitsubishi RV-1A [2].....	20
Obr. 3 Popis robotu RV-1A [2]	21
Obr. 4 Horní pohled – dosah RV-1A [2]	21
Obr. 5 Přední a Boční pohled – dosah RV-1A [2].....	22
Obr. 6 Popis přední CR1-571 [2].....	23
Obr. 7 Popis zadní strany CR1-571 [2].....	23
Obr. 8 Minimální rozměry pro umístění řídicí jednotky CR1-571 [2]	24
Obr. 9 Rozměry CR1-571 [2]	25
Obr. 10 Rozměry a popis R28TB [2].....	26
Obr. 11 Mitsubishi RV-2SD [3]	27
Obr. 12 Popis robotu RV-2SD [3]	28
Obr. 13 Horní pohled – Dosah RV-2SD [3]	28
Obr. 14 Boční pohled – Dosah RV-2SD [3].....	29
Obr. 15 Řídicí jednotka CR1DA-771 [3].....	30
Obr. 16 Popis CR1DA-771 [3]	31
Obr. 17 Operační panel CR1DA-771 [3].....	31
Obr. 18 Zadní strana CR1DA-771 [3]	32
Obr. 19 Rozměry CR1DA-771 [3]	33
Obr. 20 Minimální rozměry pro umístění řídicí jednotky CR1DA-771 [3]	34
Obr. 21 Rozměry a popis R56TB [4].....	35
Obr. 22 Zásobník kostek [5]	36
Obr. 23 Horký drát [5]	37
Obr. 24 Výukové pracoviště ABB [6]	38
Obr. 25 Výukové pracoviště KUKA [7].....	39
Obr. 26 Výukové pracoviště FANUC [8].....	40
Obr. 27 Spolupráce dvojice robotu KUKA KR QUANTEC [9]	41
Obr. 28 Uspořádání robotu [10].....	42
Obr. 29 Společná oblast [10]	42

Obr. 30 Pracoviště d dvojicí robotu FANUC [11].....	43
Obr. 31 Společné oblasti [11]	43
Obr. 32 Pracoviště s dvojicí robotu KUKA [12]	44
Obr. 33 Předávání objektu manipulace [12]	44
Obr. 34 Robotické pracoviště od firmy ZLÍN ROBOTICS s robotem od firmy EPSON [13].....	45
Obr. 35 Robotické pracoviště od firmy ZLÍN ROBOTICS s robotem od firmy EPSON [13].....	46
Obr. 36 Robotické pracoviště Parmerit [14]	47
Obr. 37 STOP tlačítka [15]	48
Obr. 38 Magnetické zámky od firmy SICK [17]	49
Obr. 39 příklad použití senzoru přiblížení [18]	49
Obr. 40 Ukázka zabezpečení pracoviště pomocí světelného závěsu OMRON F3SG-R [19].....	50
Obr. 41 Použití senzoru [20].....	50
Obr. 42 Zabezpečení nebezpečného prostoru laserovým skenerem microScan3 CORE [22].....	51
Obr. 43 Laserové skenery od firmy SICK z 190° a 270° úhlem zorného pole [23]	51
Obr. 44 Půdorys pracoviště.....	52
Obr. 45 Varianta 1	53
Obr. 46 Společná oblast	54
Obr. 47 Varianta 1, Horní pohled	54
Obr. 48 Varianta 1, Boční pohled	55
Obr. 49 Varianta 2	56
Obr. 50 Varianta 2, Horní pohled	57
Obr. 51 Varianta 2, Boční pohled	57
Obr. 52 Varianta 3	59
Obr. 53 Varianta 3, Horní pohled	60
Obr. 54 Varianta 3, Boční pohled	60
Obr. 55 Popis vybrané varianty	68
Obr. 56 Rám.....	68
Obr. 57 Přední pohled rámu.....	69

Obr. 58 Horní pohled rámu.....	69
Obr. 59 Ochranná konstrukce	70
Obr. 60 Spojení ochranné konstrukce s rámem	70
Obr. 61 detail připojení jednotlivých profilu rámu	71
Obr. 62 Dveře.	71
Obr. 63 Detail dveří	72
Obr. 64 Magnetické zámky.....	72
Obr. 65 Dveřní západky	73
Obr. 66 Horní pohled	73
Obr. 67 Stop tlačítka.	74
Obr. 68 Detail na desku pro Stop tlačítko.....	74
Obr. 69 Boční kryt	74
Obr. 70 Umístění příslušenství	75
Obr. 71 Připojení úpravny stlačeného vzduchu	75
Obr. 72 Detail umístění R28TB	76
Obr. 73 Umístění robotu.	76
Obr. 74 Detail šroubu.....	76
Obr. 75 Připojení robotu k desce.	77
Obr. 76 Schéma LFR-1/4/DB-7-5-M-MINI [26]	78
Obr. 77 Oblast detekce [27].....	79
Obr. 78 Schéma zapojení [27]	79
Obr. 79 Schéma zapojení UE43-2MF [28]	80
Obr. 80 Schéma zapojení Emergency stop [5]	81
Obr. 81 Schéma okruhu AUTO STOP [5].....	82
Obr. 82 Zatížení robotu [29]	83
Obr. 83 Síly působící na robota	83
Obr. 84 Reakce působící v ose šroubu.....	84
Obr. 85 Síly a moment působící kolmo na osu šroubu	85
Obr. 86 Nejvyšší kolmá síla v nejhorším možném případě	87

Seznam tabulek

Tab. 1 Parametry Mitsubishi RV-1A [2]	20
Tab. 2 Parametry CR1-571 [2]	22
Tab. 3 Parametry R28TB [2]	26
Tab. 4 Parametry Mitsubishi RV-2SD [3]	27
Tab. 5 Parametry Řídicí jednotky CR1DA-771 [3]	30
Tab. 6 Parametry [4]	34
Tab. 7 Parametry pracoviště	45
Tab. 8 Parametry pracoviště	46
Tab. 9 Parametry pracoviště	47
Tab. 10 Požadavkový list	52
Tab. 11 Kritéria	62
Tab. 12 Popis kritérii k jednotlivým variantám	62
Tab. 13 Určení významnosti	63
Tab. 14 Hodnocení varianty 1	64
Tab. 15 Hodnocení varianty 2	64
Tab. 16 Hodnocení varianty 3	64
Tab. 17 Určení významnosti (Ing. Daniel Huczala)	65
Tab. 18 Hodnocení varianty 1 (Ing. Daniel Huczala)	65
Tab. 19 Hodnocení varianty 2 (Ing. Daniel Huczala)	65
Tab. 20 Hodnocení varianty 3 (Ing. Daniel Huczala)	66
Tab. 21 Určení Významnosti (Ing. Michal Vocetka)	66
Tab. 22 Hodnocení varianty 1 (Ing. Michal Vocetka)	66
Tab. 23 Hodnocení varianty 2 (Ing. Michal Vocetka)	67
Tab. 24 Hodnocení varianty 3 (Ing. Michal Vocetka)	67
Tab. 25 Vlastnosti RE13-SAC [27]	78
Tab. 26 technické údaje UE43-2MF [27]	79
Tab. 27 Hodnoty zatížení [29]	83

Seznam použitých značek a symbolů

S	Bezpečná vzdálenost [mm], Plocha jádra šroubu [mm]
K	Přístupová rychlost člověka [mm/s]
T	Doběh stroje [s]
d	Rozlišení bezpečnostních senzorů [mm]
v	Významnost kritéria [-]
n	Počet voleb [-]
R_{V1}	Reakce na sílu F_v působící na podložku v ose z [N]
i	Počet šroubu [-]
R_L	Reakce na moment M_L způsobující rotaci podložky kolem osy x a y [N]
a	Rozteč šroubů [m]
R_{xy}	Reakce na síly F_H , působící na podložku v ose x a y [N]
R_{xy1}	Reakce na 1 šroub [N]
R_T	Reakce na krouticí moment M_T [N]
r	Poloměr kružnice, na kterých leží šrouby [m]
F_P	Síla působící kolmo na osu šroubu [N]
α	Úhel mezi reakcí R_{xy1} a R_T [°]
F_T	Třecí síla [N]
k	Bezpečnost pro prokluzu spojovaných součástí [-]
f	Součinitel smykového tření [-]
F_0	Předejbatá síla [N]
F_{0v}	Výsledná předejbatá síla [N]
σ_t	Napětí v tahu [MPa]
d_3	Malý průměr šroubu [mm]
τ	Napětí v krutu [MPa]
M_k	krouticí moment [Nmm]

W_k	Modul průřezu v krutu [mm^3]
ψ	Úhel stoupání [$^\circ$]
φ'	Redukovaný třecí úhel [$^\circ$]
d_2	Střední průměr šroubu [mm]
k_s	Statická bezpečnost šroubu [-]
Re	Mez kluzu šroubu [MPa]
σ_{red}	Redukované napětí získané z pevnostní kontroly dle Guesta [MPa]
M_U	Utahovací moment [Nmm, Nm]
M_{TZ}	Třecí moment v závitech [Nmm]
M_{TM}	Třecí moment pod hlavou šroubu [Nmm]
f_m	Součinitel smykového tření v kontaktu matice a podložky (Příruby) [-]
D_d	Velikost díry v přírubě [mm]
D_{SK}	Průměr kružnice určen velikosti otvoru utahovacího klíče [mm]

Slovník termínů

Ochranná konstrukce je konstrukce zamezující přístup do zakázaného prostoru robotického pracoviště

UCR je Centrum robotiky na VŠB-TUO FS

Úvod

Cílem této bakalářské práce je navrhnout výukové robotické pracoviště s dvojicí robotu od firmy Mitsubishi. Pracoviště bude dle požadavku katedry umístěno ve výklenku na UCR. Roboti užití v tomto pracovišti jsou RV-2SD a RV-1 A.

Prvním krokem práce bude analýza současného stavu a řešení v oblasti konstrukce výukových robotických buněk. Zde budou získány potřebné informace na sestavení požadavkového listu, jenž bude sloužit pro vytvoření variant řešení.

Vybraná varianta bude podrobně popsána a bude vypracován detailní 3D model. Následně bude proveden výpočet šroubového spojení.

Poslední krok práce bude vytvoření výkresové dokumentace a specifikace nakupovaných komponent.

Požadavky katedry

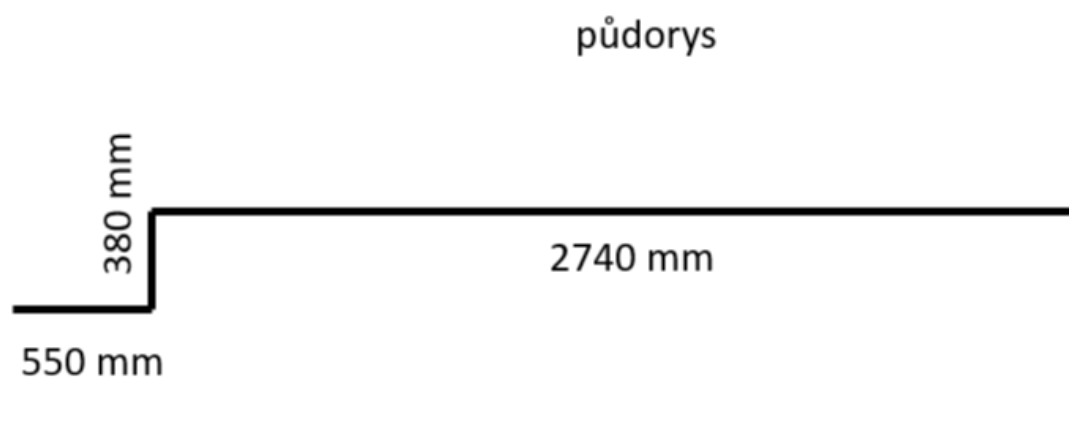
- Využití bezpečnostních prvku primárně ze skladu
- V případě hliníkových profilu použít ALUTEC
- Roboti si musí být schopni předat objekt manipulace
- Dodržet bezpečnostní normy
- Využít roboty vlastněné, katedrou robotiky
- Využít pouze dostupné zdroje energie na UCR
- Umístit pracoviště do výklenku na UCR

Analýza současného stavu

V této kapitole bude analyzován současný stav prostředí a dostupných robotu, dostupné výuková pracoviště na trhu, způsob konstrukce robotických buněk, možnosti uspořádání robotu a bezpečnostní prvky robotických pracovišť.

1.1 *Analýza prostředí pro umístění robotu.*

Dle požadavku katedry musí být pracoviště umístěno ve výklenku na UCR. Na Obr. 1 je znázorněn půdorys výklenku. Výhody umístění jsou v snadnějším zabezpečení pracoviště, jelikož je zde přístup jenom ze dvou stran. Nevýhody umístění jsou v limitních rozměrech, které pracoviště nesmí překročit.



Obr. 1 Půdorys výklenku

1.2 **Popis robotu Mitsubishi**

V pracovišti budou využiti roboti ze skladu UCR, přesněji robot RV-1A a výkonnější robot RV-2SD.

Roboti RV-1 A a RV-2SD jsou od firmy Mitsubishi třídy MELFA. Dle slov výrobce jsou roboti této třídy univerzální, schopní konat vícero činností bez nutnosti nějaké výrazné modifikace. Jsou vybavení kloubovým ramenem se 6 osami s nosností od 1 do 20 kg. [1]

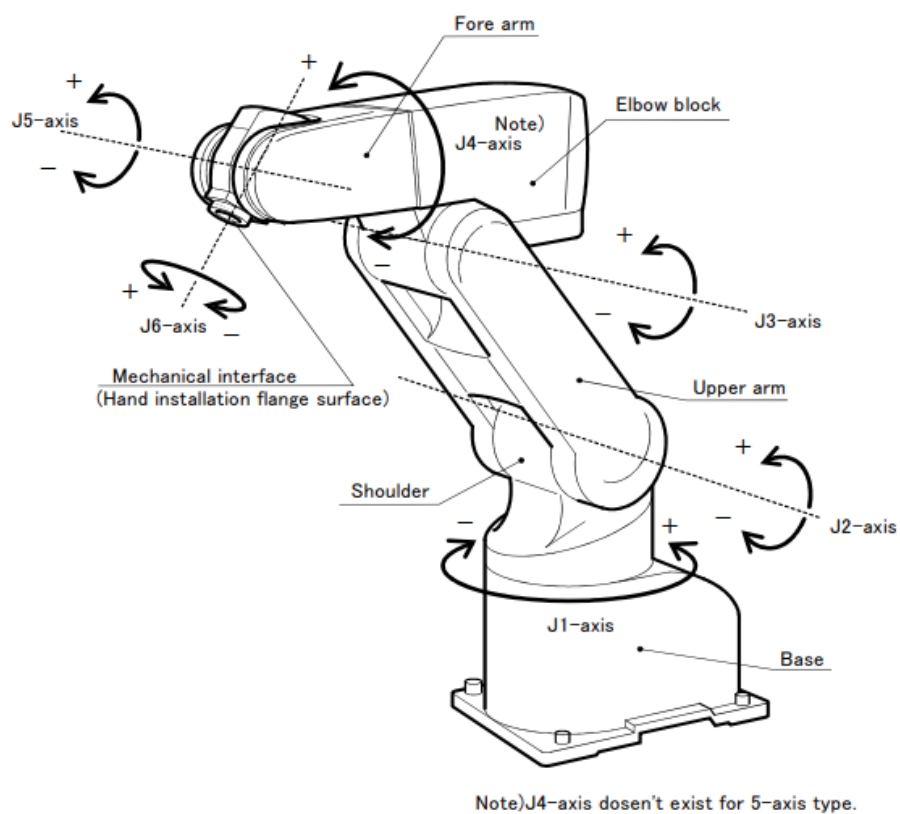
1.2.1 Robot Mitsubishi RV-1A



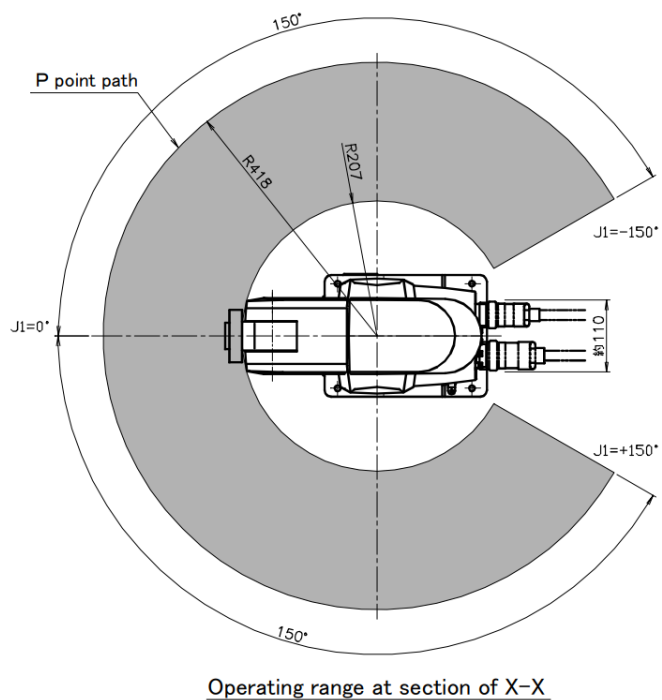
Obr. 2 Mitsubishi RV-1A [2]

Tab. 1 Parametry Mitsubishi RV-1A [2]

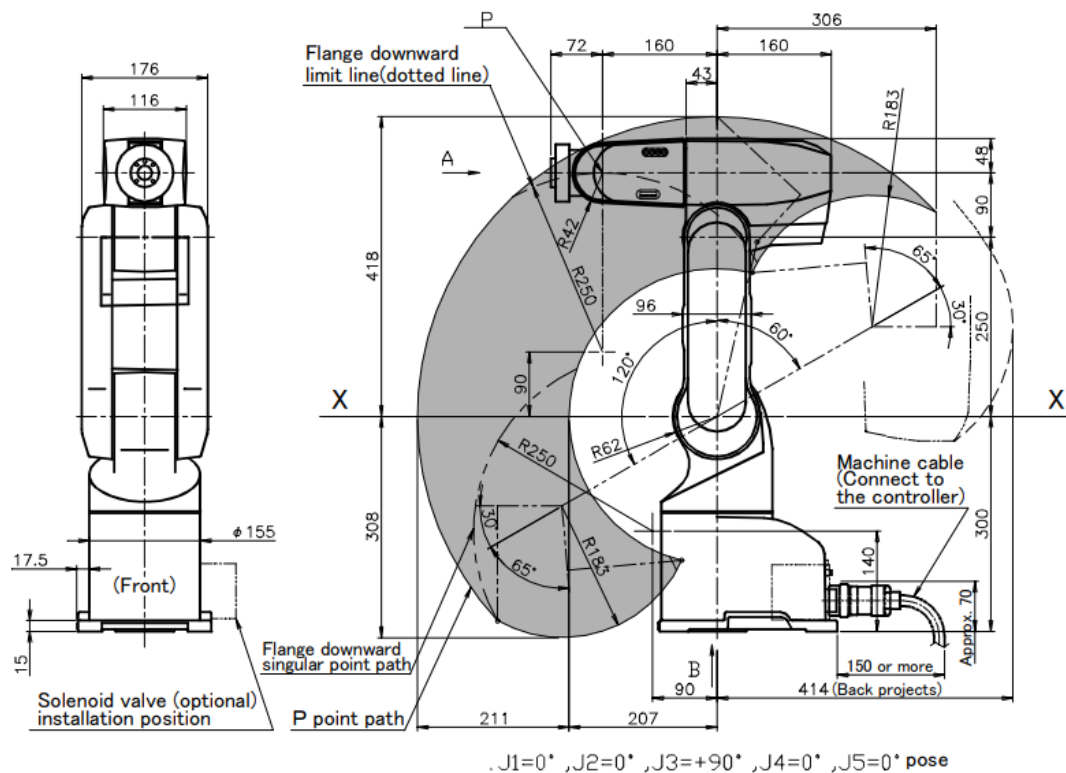
Parametr:	Hodnota:
Nosnost	1 kg
Maximální rychlost	2.2 m/s
Rozsah	410 mm
Počet os	6
Přesnost polohování	+/- 0.02 mm
Hmotnost	19 kg
Operační rádius	-
Osa 1 (J1)	300° (-150° ÷ +150°)
Osa 2 (J2)	180° (-60° ÷ +120°)
Osa 3 (J3)	95° (+60 ÷ +155°)
Osa 4 (J4)	320° (-160° ÷ +160°)
Osa 5 (J5)	180° (-90° ÷ +90°)
Osa 6 (J6)	400° (-200° ÷ +200°)



Obr. 3 Popis robotu RV-1A [2]



Obr. 4 Horní pohled – dosah RV-1A [2]

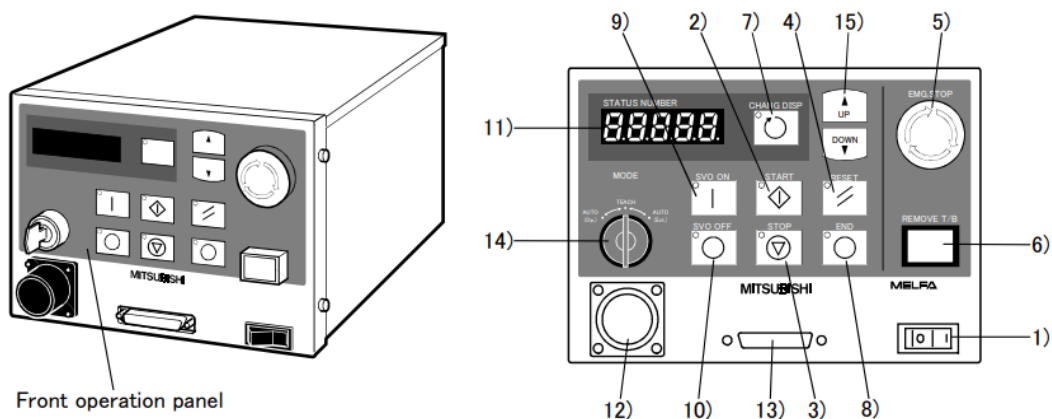


Obr. 5 Přední a Boční pohled – dosah RV-1A [2]

1.2.1.1 Řídicí jednotka CR1-571

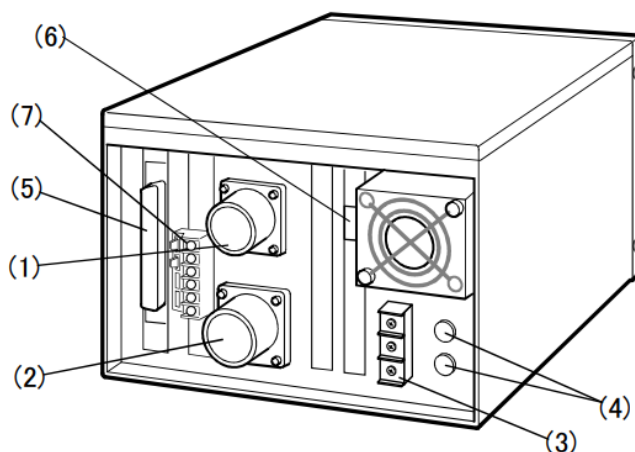
Tab. 2 Parametry CR1-571 [2]

Parametry:	Hodnota:
Frekvence	50 ÷ 60 Hz
Napětí	AC 180 ÷ 253 V
Počet vstupu	4
Počet ovládaných os	6
Rozměry	
Šířka	212 mm
Délka	290 mm
Výška	151 mm
Operační teplota	0 ÷ 40 °C
Programovací jazyk	MELFA – BASIC IV



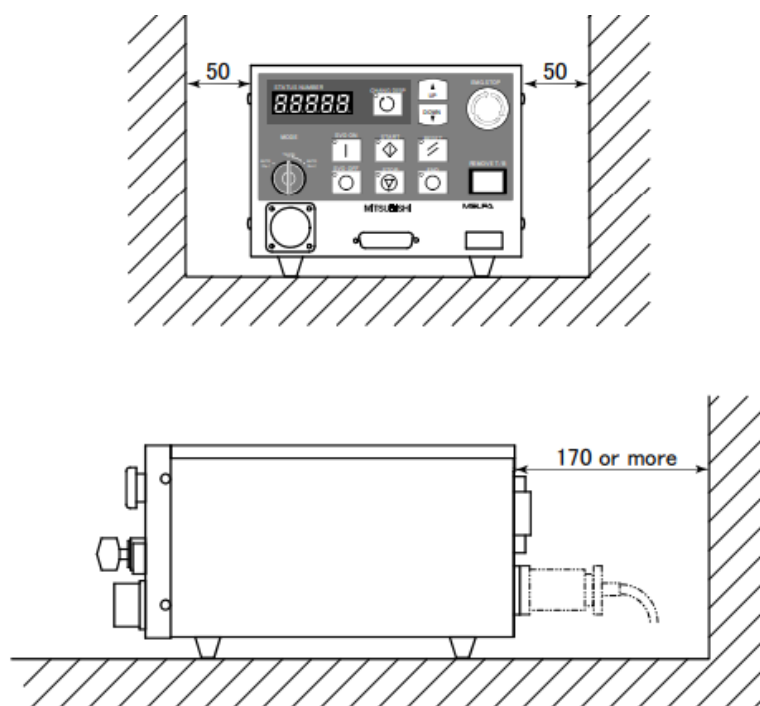
Obr. 6 Popis přední CR1-571 [2]

- | | | |
|---|--|--|
| 1. Přepínač na zapnutí/vypnutí | 7. Tlačítko na přepínání detailu na displeji | 11. Displej |
| 2. Startovací tlačítko | 8. Tlačítko na ukončení programu | 12. Připojení pedantu |
| 3. Tlačítko na zastavení – robot zastaví, servopohony budou ale stále zapnuté | 9. Tlačítko na zapnutí servopohonu | 13. Připojení pro počítač (RS-232C konektor) |
| 4. Resetovací tlačítko | 10. Tlačítko na zapnutí servopohonu | 14. Klíčový přepínač z 3 mody |
| 5. Stop tlačítko | | 15. Tlačítka nahoru/dolu |
| 6. T/B remove switch | | |

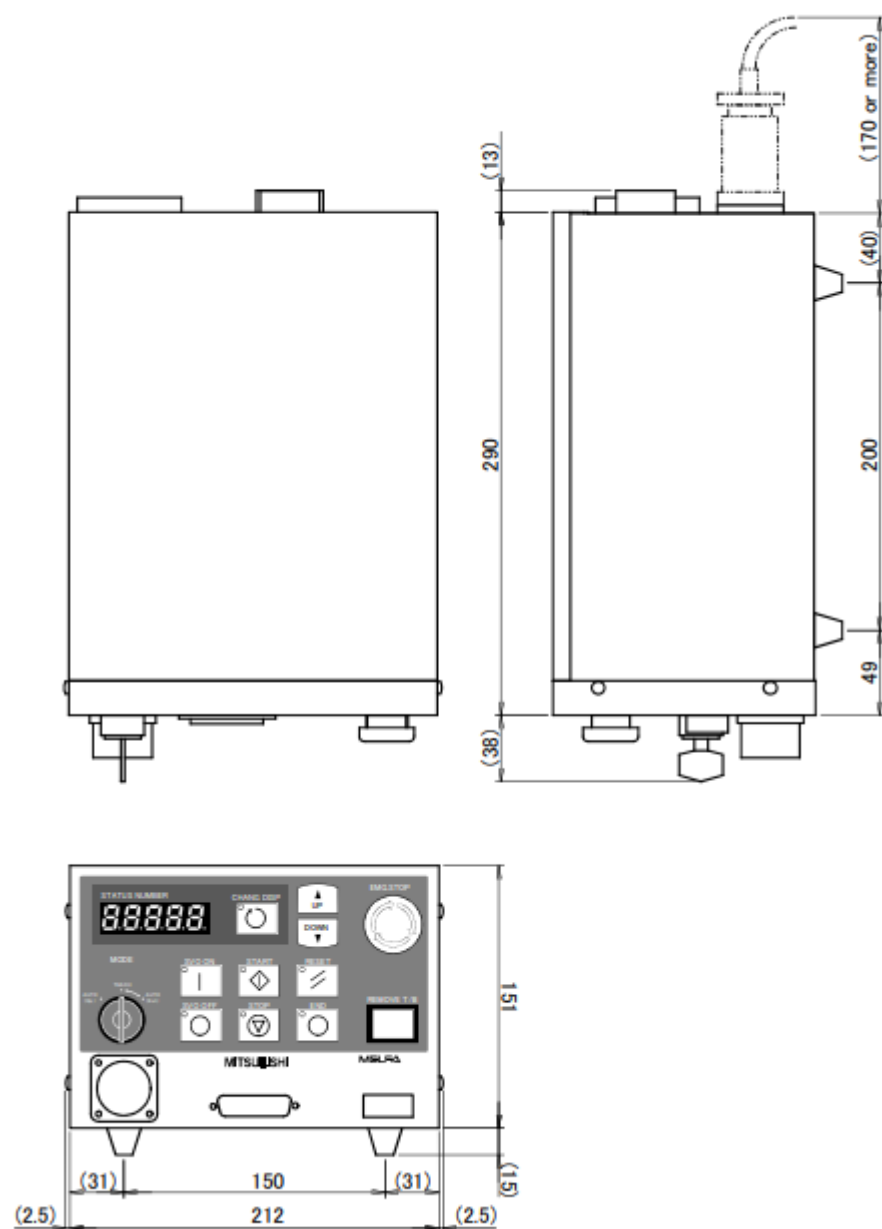


Obr. 7 Popis zadní strany CR1-571 [2]

- | | |
|--|---|
| 1. Připojení pro zapojení motoru | 5. Externí vstup/výstup signálu konektoru |
| 2. Připojení pro zapojení signálu motoru | 6. Síťový konektor |
| 3. Zdroj napájení | 7. Připojení pro STOP tlačítko |
| 4. Pojistky | |



Obr. 8 Minimální rozměry pro umístění řídicí jednotky CR1-571 [2]

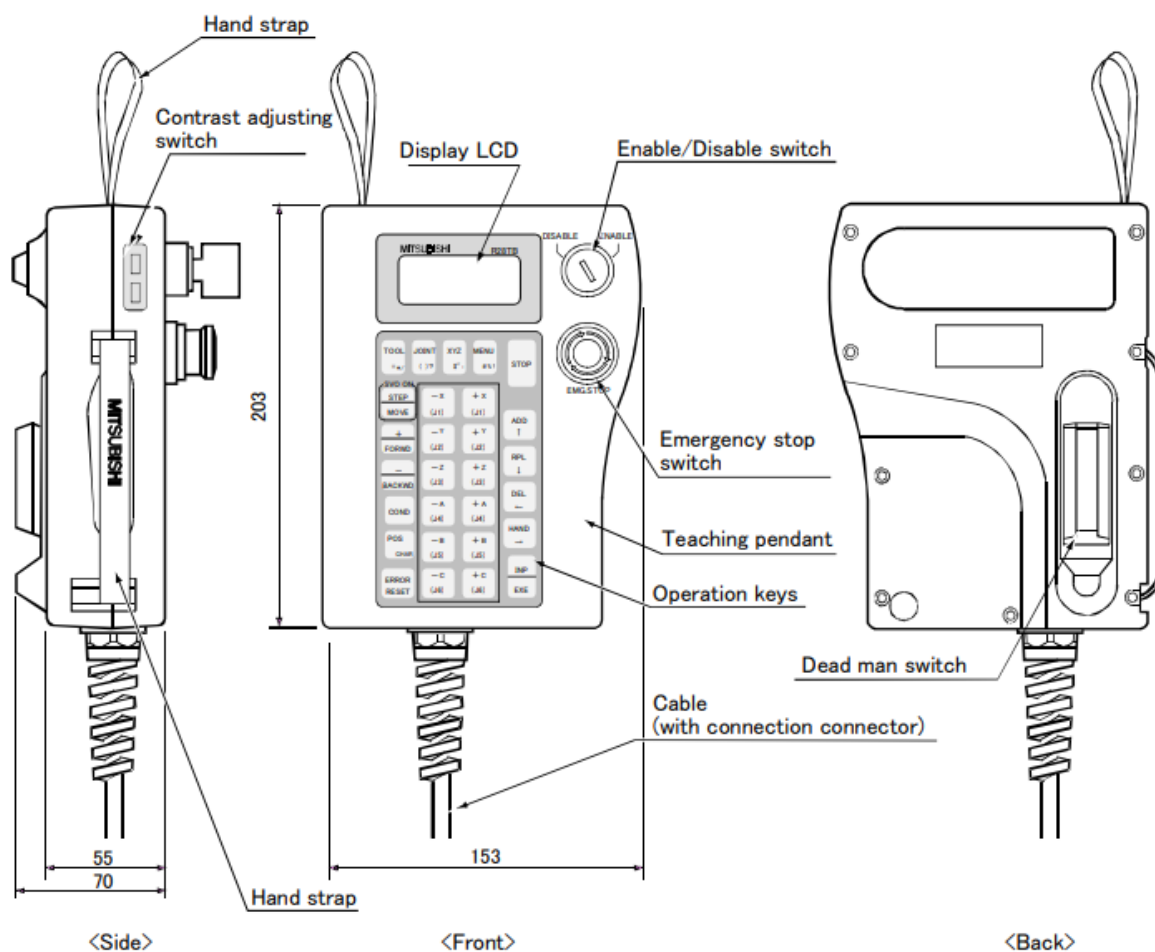


Obr. 9 Rozměry CR1-571 [2]

1.2.1.2 Řídicí pedant R28TB

Tab. 3 Parametry R28TB [2]

Parametry:	Hodnota:
Rozměry	
Šířka	95 mm
Délka	34 mm
Výška	236 mm
Váha	0,5 Kg
Úroveň ochrany	IP65
Rozhraní	RS-422
Způsob připojení	30 - pin



Obr. 10 Rozměry a popis R28TB [2]

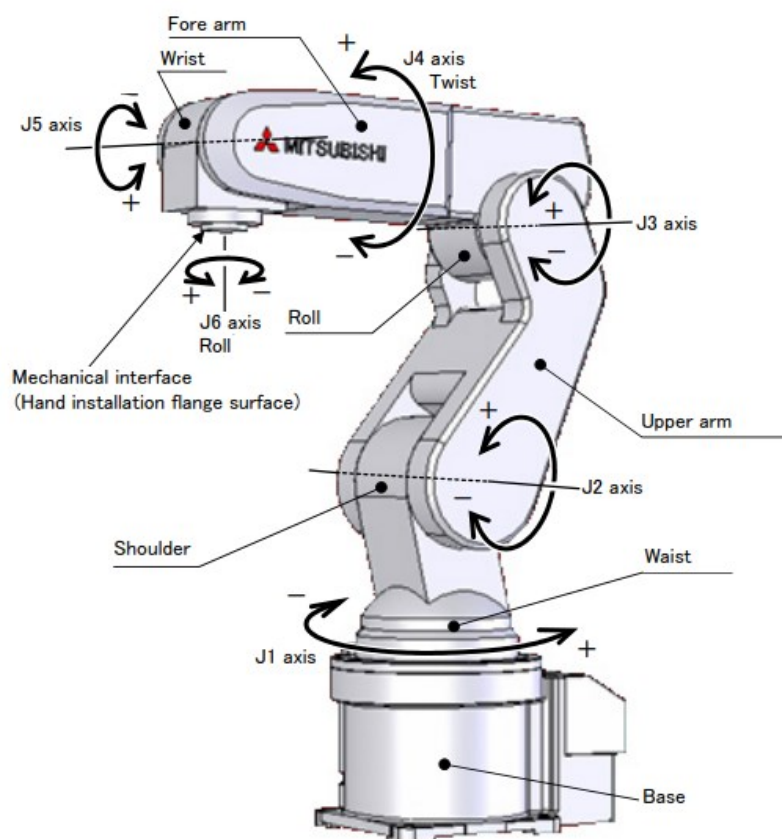
1.2.2 Robot Mitsubishi RV-2SD



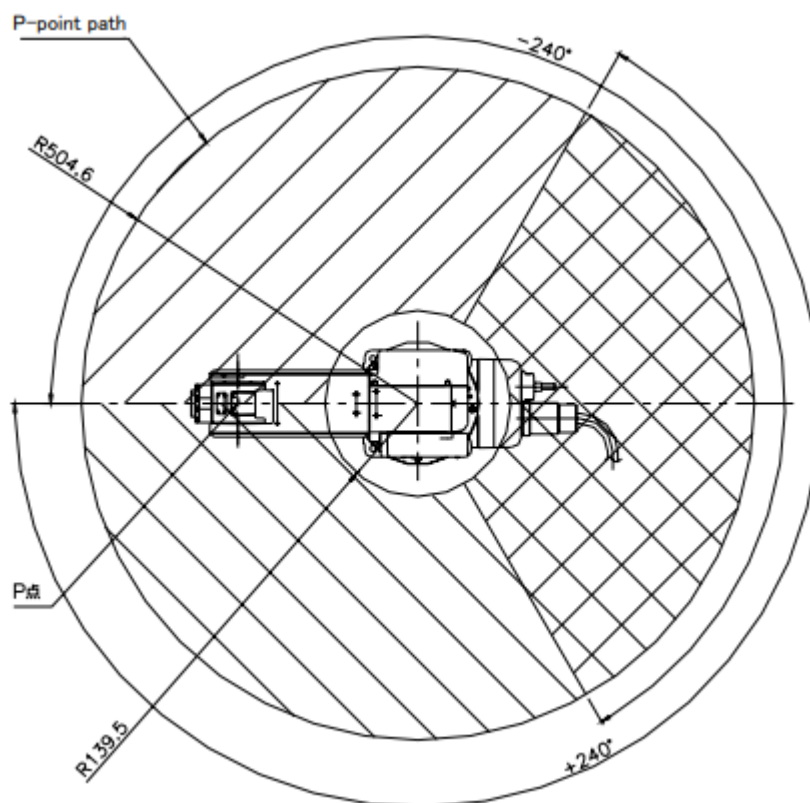
Obr. 11 Mitsubishi RV-2SD [3]

Tab. 4 Parametry Mitsubishi RV-2SD [3]

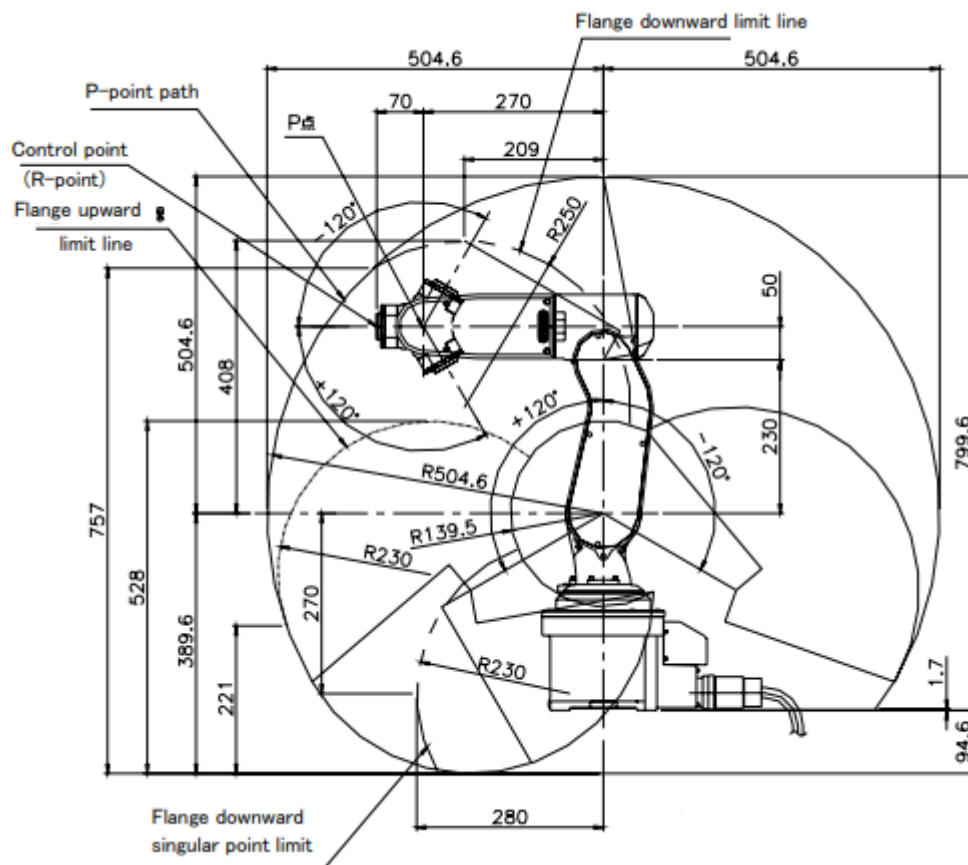
Parametry:	Hodnota:
Nosnost	2 kg
Maximální rychlost	4.4 m/s
Rozsah	504 mm
Počet os	6
Přesnost polohování	+/- 0.02 mm
Hmotnost	19 kg
Operační rádius	-
Osa 1 (J1)	480° (-240° ÷ +240°)
Osa 2 (J2)	240° (-120° ÷ +120°)
Osa 3 (J3)	160° (0 ÷ +160°)
Osa 4 (J4)	400° (-200° ÷ +200°)
Osa 5 (J5)	240° (-120° ÷ +120°)
Osa 6 (J6)	720° (-360° ÷ +360°)



Obr. 12 Popis robotu RV-2SD [3]



Obr. 13 Horní pohled – Dosah RV-2SD [3]



Obr. 14 Boční pohled – Dosah RV-2SD [3]

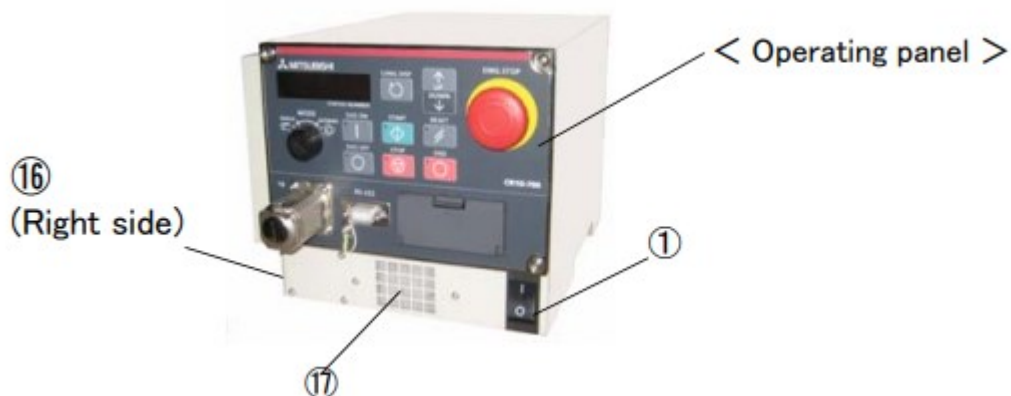
1.2.2.1 Řídicí jednotka CR1DA-771



Obr. 15 Řídicí jednotka CR1DA-771 [3]

Tab. 5 Parametry Řídicí jednotky CR1DA-771 [3]

Parametry:	Hodnota:
Frekvence	50 ÷ 60 Hz
Napětí	AC 180 ÷ 253 V
Počet vstupu	4
Počet ovládaných os	6
Rozměry	
Šířka	240 mm
Délka	290 mm
Výška	200 mm
Operační teplota	0 ÷ 40 °C
Programovací jazyk	MELFA – BASIC V (IV)

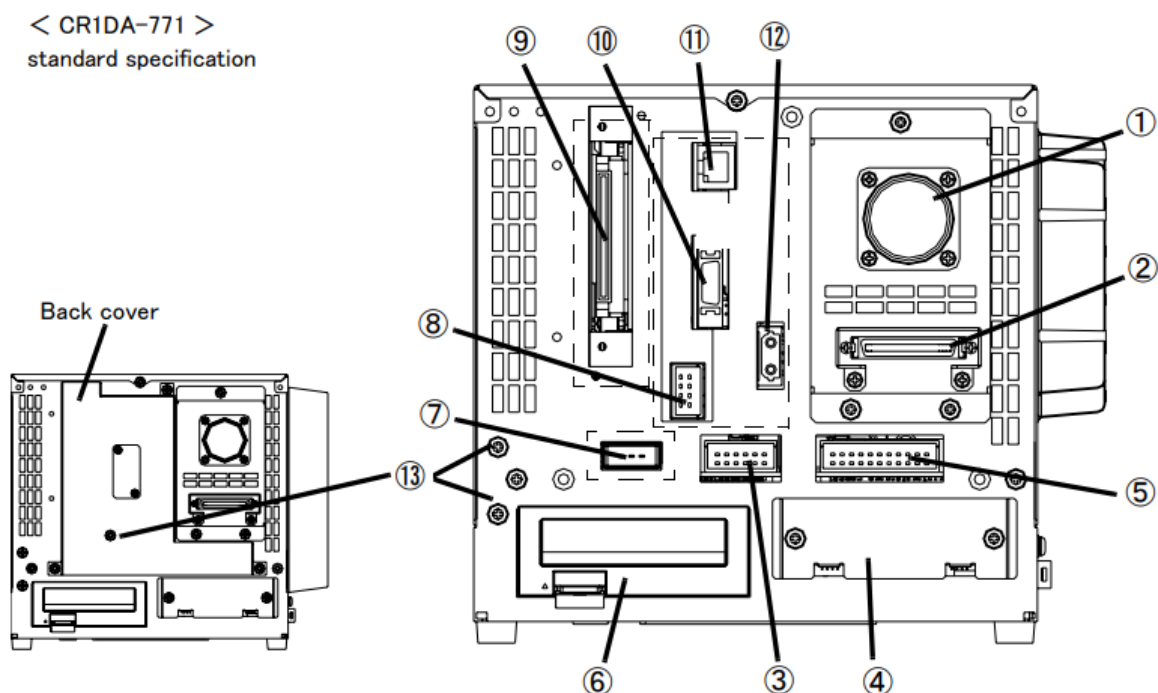


Obr. 16 Popis CR1DA-771 [3]



Obr. 17 Operační panel CR1DA-771 [3]

- | | | |
|--|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Přepínač zapnuto/vypnuto | 7. Tlačítko Konec – Ukončení programu | 12. Klíčový přepínač z 2 mody |
| 1. Přepínač zapnuto/vypnuto | | 13. Tlačítka nahoru/dolu |
| 2. Tlačítko Start | 8. Tlačítko na zapnutí servopohonu | 14. Krýt USB |
| 3. Tlačítko Stop – zastavení robota, servopohony stále zapnuté | 9. Tlačítko na vypnutí servopohonu | 15. Připojení pro počítač (RS-232) |
| 4. Tlačítko Reset | 10. Displej | 16. Kryt terminálu |
| 5. Nouzové tlačítko vypnutí | 11. Konektor pro připojení pedantu | 17. Filtr |
| 6. Tlačítko na přepínání detailu na displeji | | |

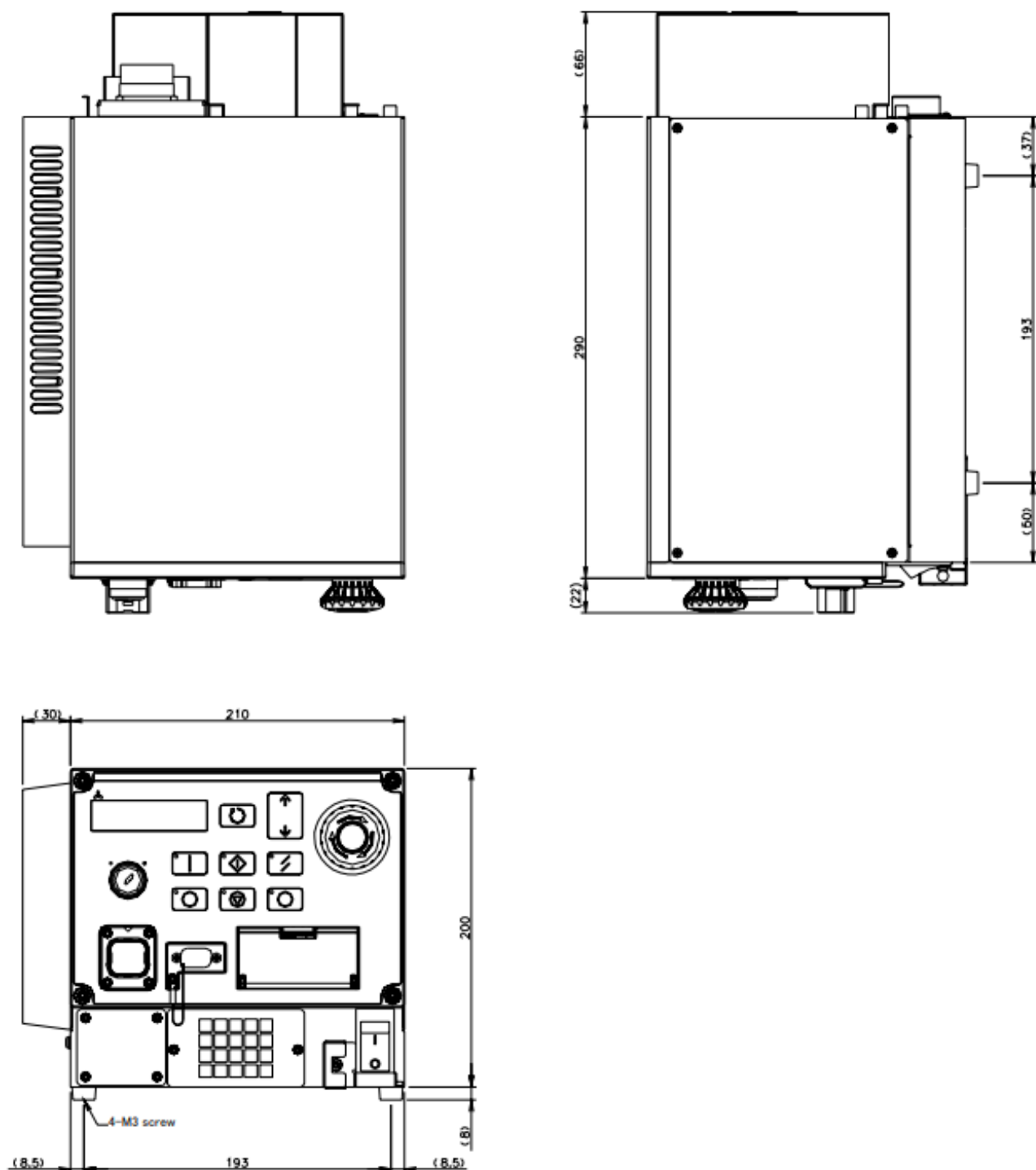


Obr. 18 Zadní strana CR1DA-771 [3]

- | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Připojení napájení motoru | 6. Připojení příslušenství | 11. Síťové připojení |
| 2. Připojení signálu motoru | 7. Rozšířený paralelní vstup/výstup | 12. Připojení pro ovládání další osy |
| 3. Výstup tlačítka nouzového vypnutí | 8. Speciální vypínací jednotka | 13. Kryt |
| 4. Hand slot (HND) | 9. Připojení externí paměti | |
| 5. Vstup tlačítka nouzového vypnutí | 10. Připojení pro encoder | |

<CR1DA-771>

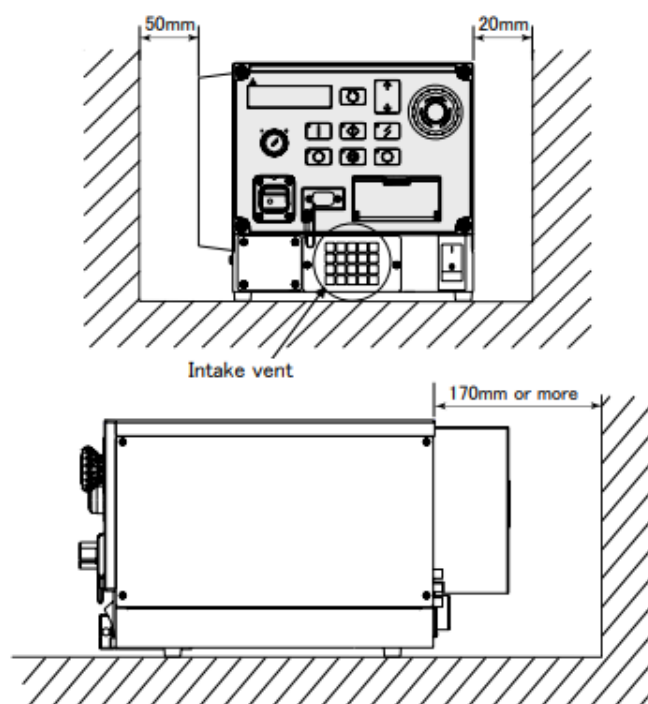
Standard specification



Obr. 19 Rozměry CR1DA-771 [3]

<CR1DA-771>

Standard specification

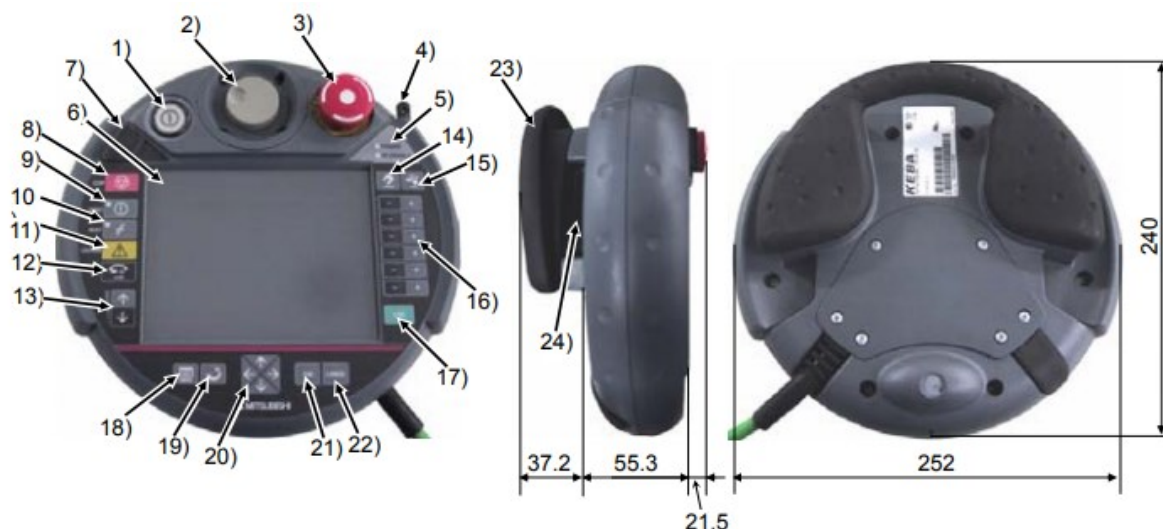


Obr. 20 Minimální rozměry pro umístění řídicí jednotky CR1DA-771 [3]

1.2.2.2 Řídicí pedant R56TB

Tab. 6 Parametry [4]

Parametry:	Hodnota:
Rozměry	
Šířka	252 mm
Délka	114 mm
Výška	240 mm
Váha	1,250 Kg
Úroveň ochrany	IP65
Rozhraní	RS-422
Způsob připojení	30 - pin



Obr. 21 Rozměry a popis R56TB [4]

- | | | |
|---|-------------------------------------|--|
| 1. Povolení/Zakázání pedantu | 8. Tlačítko STOP | 17. Tlačítko EXE |
| 2. Ovládací kolečko | 9. Tlačítko pro zapnutí servopohonu | 18. Tlačítko Menu |
| 3. Tlačítko nouzového vypnutí | 10. Tlačítko Reset | 19. Tlačítko Return |
| 4. Touch stylus – pro lepší ovládání displeje | 11. Varovné tlačítko | 20. Šipky pro ovládání |
| 5. LED dioda pro ukazování napájení pedantu | 12. Tlačítko Home | 21. Tlačítko OK |
| 6. Dotyková obrazovka | 13. Tlačítko nahoru/dolu | 22. Tlačítko Cancel |
| 7. USB konektor | 14. Tlačítko pro manuální operace | 23. Úchyt pedantu |
| Tlačítko STOP | 15. Tlačítko JOG | 24. Dead man switch – Musí být stlačené, jinak se nezapnou servopohony |
| | 16. Tlačítko +/- | |

1.3 Výukové úlohy

Výukové úlohy pro výukové pracoviště jsou převzaty z úloh, které konají pracoviště s roboty ABB IRB140 umístěných na UCR. [5]

1.3.1 Manipulace s materiálem

Smysl této úlohy je schopnost robota manipulovat s kostkami, které se nachází přesně v definovaném prostoru pomoci duralového zásobníku. Celkem se zde může nacházet 16 kostek. Cílem robota je dokázat s těchto kostek postavit pyramidu [5] Tato úloha je velmi vhodná i pro tohle pracoviště a může sloužit jako výborná ukázka spolupráce dvou robotu.

Úloha by mohla probíhat následovně. V první řadě by do pracovní oblasti obou robotu musel dát operátor zásobník kostek, který je vidět na Obr. 22. Spolupráce obou robotu by probíhala, tak že by střídavě braly ze zásobníku kostky a pokládali je na sebe. Další možnost je aplikace kdy jeden robot kostky ze zásobníku odebírá a ukládá na místo, odkud by je druhý robot odebíral a skládal by s nich pyramidu, popřípadě by je odkládal do připravené bedny.

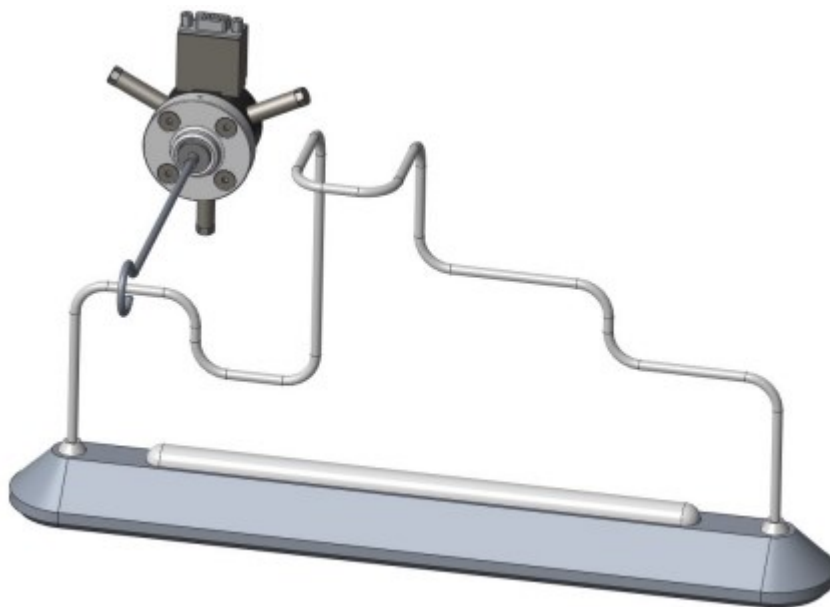


Obr. 22 Zásobník kostek [5]

1.3.2 Kopírování trajektorie (Horký drát)

V této úloze je úkolem robota, kopírovat trajektorii drátu z jednoho konce na druhý v jakémkoliv směru. Pro tuto úlohu má Robot IRB140 speciálně vytvořený efektor. [5]

Úloha je vhodnější spíš pro jednoho robota, protože ukazuje schopnost robota sledovat danou trajektorii. Pro realizace této úlohy by pro oba roboty musel být navrhnout efektor.



Obr. 23 Horký drát [5]

1.3.3 Obloukové svařování

V tomto případě je smyslem úlohy ukázat schopnost robota simulovat svařovací aplikaci. Úloha je přizpůsobena umístěním pracoviště na UCR, takže robot nemá skutečnou svařovací hlavici, ale popisovač. Pomocí popisovače robot dokáže, nakreslit na předem připravenou ocelovou desku s vrstvou papíru, obrazce např. čtverce, které se dotýkají v jednom bodě. Jako úloha předtím je podmínka využití této úlohy mít požadovaný efektor. [5]

Také se jedná o úlohu vhodnou k ukázce spolupráce obou robotů. Roboti by mohli obrazce kreslit střídavě, tím je myšleno, že když jeden z robotů nakreslí obrazec, poodjede aby nedošlo ke kolizi s druhým robotem, poté druhý robot začíná kreslit obrazec, který se bude dotýkat v bodě s prvním obrazcem a situace se opakuje, dokud nebude nakreslen počet zvolených obrazců.

1.4 Výukové pracoviště

Tato část rešerše rozebírá výukové pracoviště, která jsou dostupná na trhu. Budu zde porovnávat řešení jejich, konstrukce, zabezpečení a umístění robotu.

1.4.1 Výukové pracoviště ABB

Firma ABB nabízí robotické pracoviště, které slouží výhradně pro výuku na školách. Robotické pracoviště simuluje reálné průmyslové zařízení, díky čemuž studenti získají praktické informace z oblasti automatizace.

Popis pracoviště:

- Rám konstrukce – montovaný hliníkový
- Typ konstrukce – montovaný
- Typ robota – 6osý IRB120
 - Maximální dosah robota 580 mm
 - Nosnost 3 kg
 - Opakovatelná přesnost 0,01 mm
- Umístění robota – uprostřed pracoviště
- Bezpečnostní prvky – Hliníková konstrukce, dvířka s magnetickými zámky, stop tlačítka
- Umístění příslušenství – součásti konstrukce
- Řídicí systém IRC 5
 - Obsahuje 8 vstupů a 8 výstupu
 - Možnost připojení dalších periferních zařízení
 - Napětí 220–230 V /AC
 - Sít'ová frekvence 50–60 Hz
- Součásti 100 digitálních licenci programu RobotStudio [6]



Obr. 24 Výukové pracoviště ABB [6]

1.4.2 Výukové pracoviště KUKA

Firma KUKA nabízí v rámci programu ready2_educate vlastní výukové pracoviště, které lze využít ve školách nebo firemních vzdělávacích zařízeních. Studenti nebo zaměstnanci získají potřebné znalosti v oblasti průmyslové robotizace.

Popis pracoviště:

- Rám konstrukce – hliníkový
- Typ konstrukce – montovaný
- Typ robota – 6osý KR3 AGILUS
 - Maximální dosah robota 541 mm
 - Váha – 26 kg
 - Nosnost 3 kg
 - Opakovatelná přesnost 0,02 mm
- Umístění robota – uprostřed pracoviště
- Bezpečnostní prvky – Hliníková konstrukce, dvířka s magnetickými zámky, stop tlačítka
- Umístění příslušenství – součásti konstrukce
- Řídicí systém KR C4 compact
 - Napětí 200–230 V / AC
 - Sít'ová frekvence 50–60 Hz [7]



Obr. 25 Výukové pracoviště KUKA [7]

1.5.1 Výukové pracoviště FANUC

Firma FANUC nabízí v rámci vzdělání studentu, balíček nazvaný, vše v jednom, má umožnit studentům získat zkušenosti v oblasti programování a obsluhy průmyslového robotu.

Popis pracoviště:

- Rám konstrukce – hliníkový
- Typ konstrukce – montovaný
- Typ robota – 6osý Fanuc ER-4iA
 - Maximální dosah robota 550 mm
 - Váha – 20 kg
 - Nosnost 4 kg
 - Opakovatelná přesnost 0,01 mm
- Umístění robota – V pravé části pracoviště
- Bezpečnostní prvky – Hliníková konstrukce, dvířka s magnetickými zámky, stop tlačítka
- Umístění příslušenství – součásti konstrukce
- Řídicí systém Řídicí jednotku 30iB Compact Mate,
 - Napětí 200–230 V / AC
 - Síťová frekvence 50–60 Hz
 - 20 digitálních vstupu a výstupu.
- 20 licenci k simulačnímu softwaru RobotGuide [8]



Obr. 26 Výukové pracoviště FANUC [8]

Na trhu jsou dostupná výuková pracoviště, které jsou svými parametry velmi podobné. Větší rozdíl je v umístění robotu na pracovní desce, váha robotu, nosnost a opakovatelná přesnost. Použité bezpečnostní prvky jsou u všech pracovišť totožné.

1.6 *Uspořádání robotu*

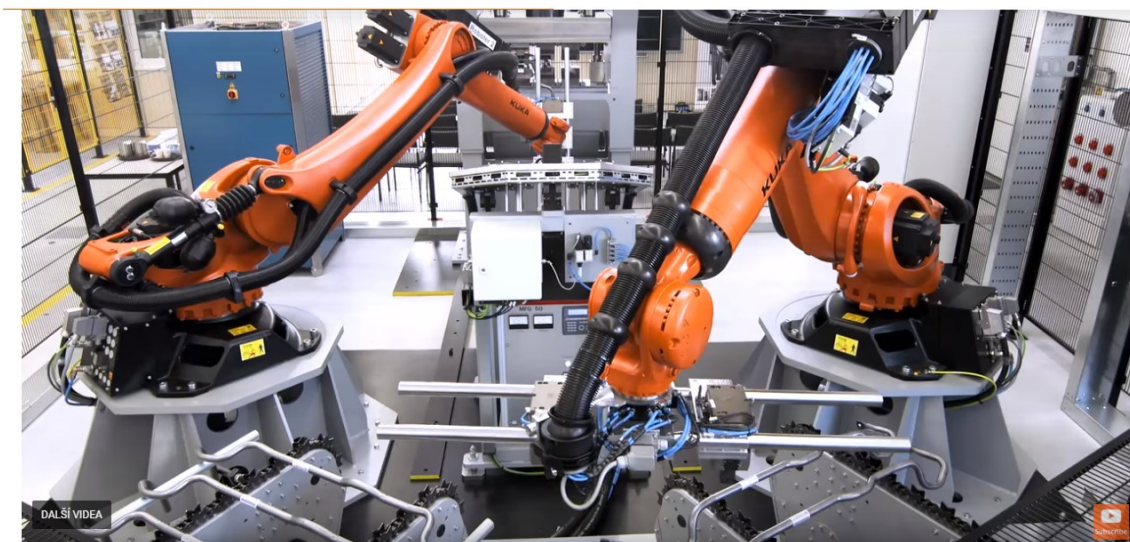
U pracoviště s jedním robotem musí být zajištěno, aby vyhovovalo jeho pracovnímu prostoru. Je tím myšleno, že robot nesmí být omezen při vykonání jeho pracovního cyklu.

V případě spolupráce dvou či více robotu je potřeba zajistit společnou oblast působnosti v této oblasti dochází k předávání objektu manipulace, také zde může docházet ke křížení drah robotu. V tomto případě je důležité zajistit, aby nedošlo ke kolizí, nejčastěji se to provádí ošetřením v programu.

V následujících podkapitolách jsou rozepsány 4 možnosti uspořádání robotů

1.6.1 Robotické pracoviště od firmy KUKA

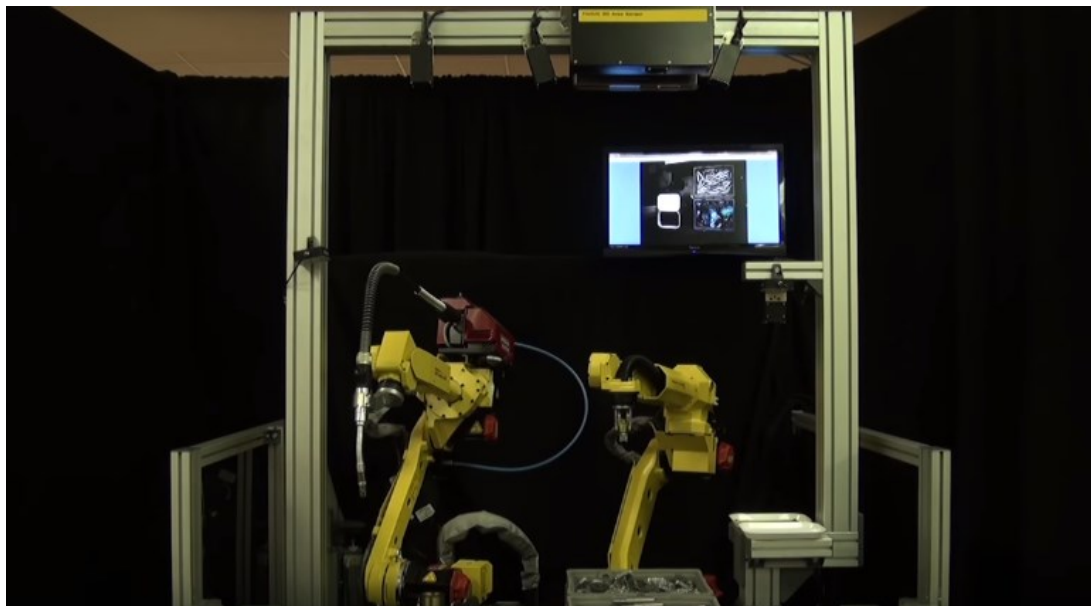
Roboti KUKA KR QUANTEC jsou umístěni vedle sebe a jejich pracovní prostor se nachází mezi nimi od dopravníku po lis. Kooperace mezi roboty probíhá, tak že jeden robot odebírá trubku ze zásobníku a nahřívá její konce, druhý robot u lisu už stlačuje konce trubky. Roboti se střídají, přičemž robot, který nahřál konce trubky, čeká v oblasti, kde nepřekáží druhému robotovi.



Obr. 27 Spolupráce dvojice robotu KUKA KR QUANTEC [9]

1.6.2 Robotické pracoviště od firmy FANUC – svaření hřídele s ozubeným kolem

Robotické pracoviště slouží ke svaření hřídele s ozubeným kolem. Roboti jsou umístěni vedle sebe a společný prostor zde představuje otočný stůl Obr. 29. Jeden robot je svařovací a druhý manipulační. Spolupráce probíhá následovně. Manipulační robot zkontroluje a poté umístí díly na otočný stůl, následně ještě pomůže s přidržením dílu, aby je svařovací robot svařil k sobě.



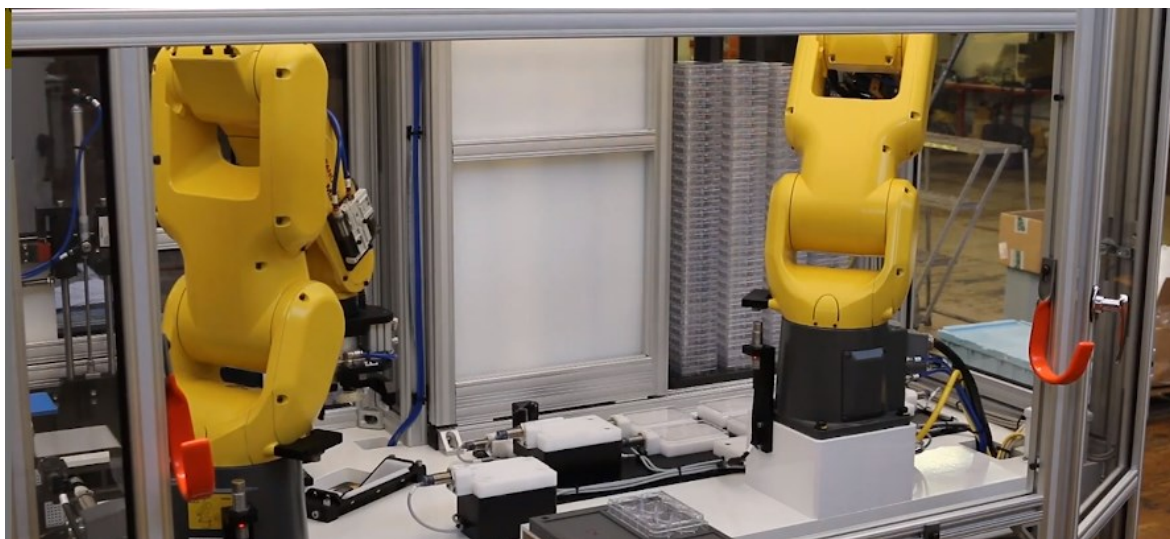
Obr. 28 Uspořádání robotu [10]



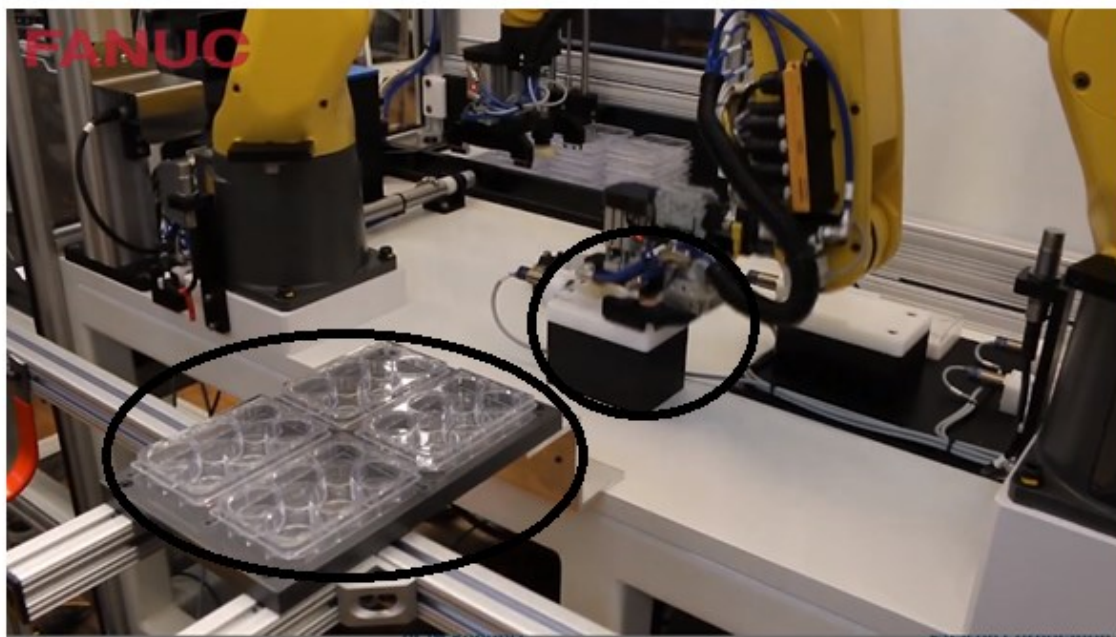
Obr. 29 Společná oblast [10]

1.6.3 Robotické pracoviště od firmy FANUC

Roboti v tomto robotickém pracovišti jsou umístěni naproti sobě. Roboti mají dvě společné oblasti působnosti, které lze vidět na Obr. 31. Spolupráce zde probíhá v předávání si manipulačního objektu pomocí dvou stolů.

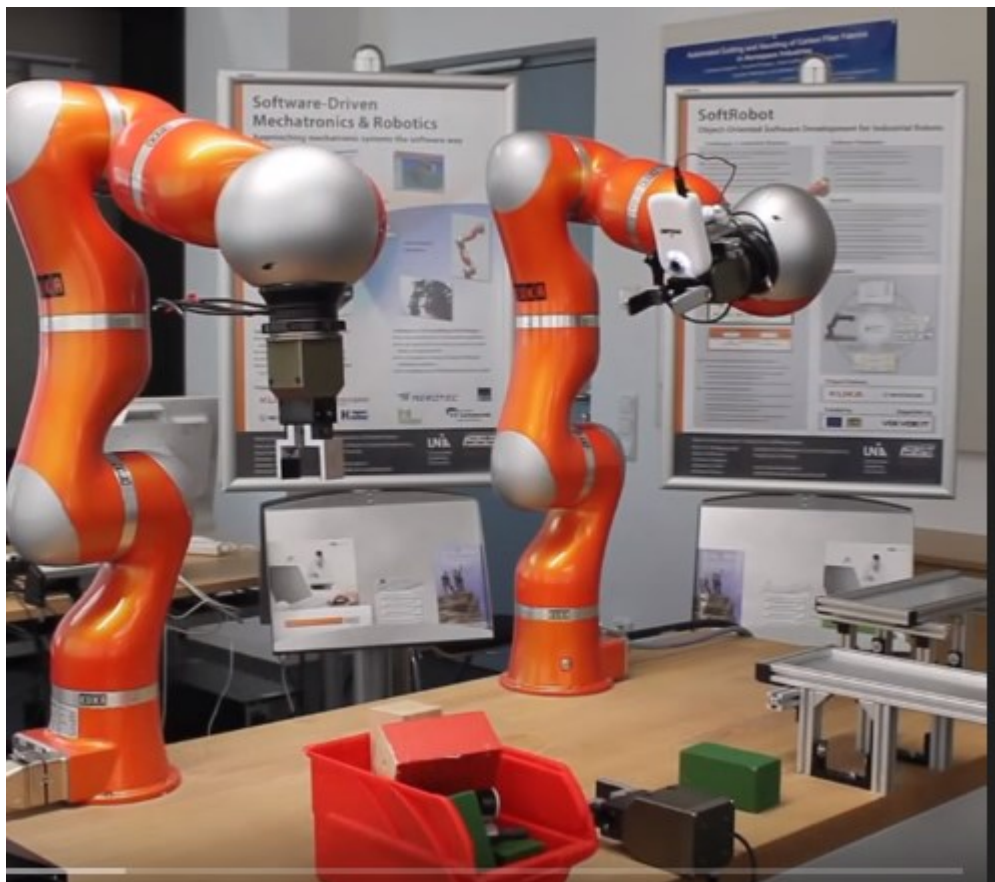


Obr. 30 Pracoviště d dvojicí robotu FANUC [11]



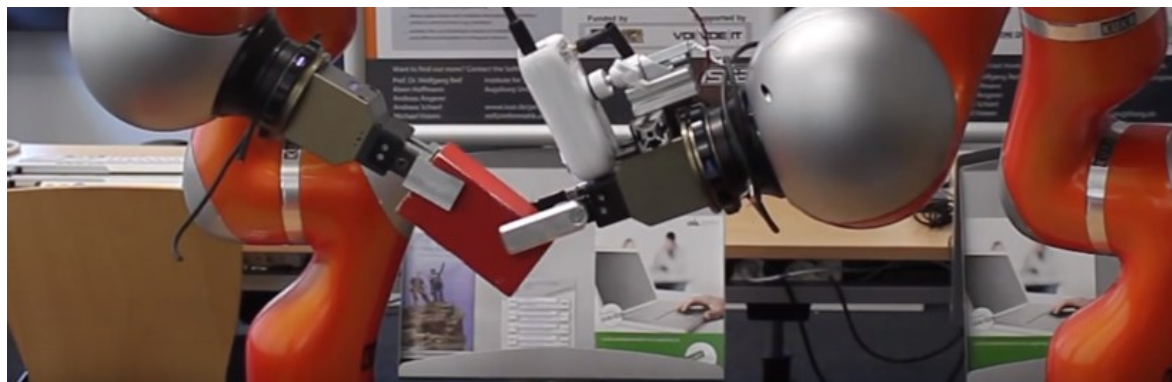
Obr. 31 Společné oblasti [11]

1.6.4 Robotické pracoviště s dvojicí robotu KUKA



Obr. 32 Pracoviště s dvojicí robotu KUKA [12]

V posledním případě má dvojici robotu za úkol předat si objekt manipulace viz. Obr. 33, který zde představuje zelená a červená kostka, můžou také tyto kostky na sebe pokládat. Od ostatních pracovišť se liší tím, že společnou oblast si zde nastavuje operátor. Není jako v ostatních případech fixně daná.



Obr. 33 Předávání objektu manipulace [12]

1.7 Konstrukce robotických buněk

Konstrukce robotické buňky závisí na:

- Rozměrech a hmotnosti robota
- Rozměrech pracoviště
- Účel robota – průmyslový robot, výukový robot
- Cena
- Materiál
- Umístění robota

V této kapitole budou porovnány 3 varianty robotických buněk lišící se jejich konstrukcí.



Obr. 34 Robotické pracoviště od firmy ZLÍN ROBOTICS s robotem od firmy EPSON [13]

Tab. 7 Parametry pracoviště

Typ konstrukce	Montovaná
Rám konstrukce	Hliníková
Krytování	Průhledné
Umístění příslušenství	Součást konstrukce
Bezpečnostní prvky	Dvířka s magnetickými zámky, stop tlačítka, Fyzická bariéra (Hliníková)
Umístění robota	Na desce



Obr. 35 Robotické pracoviště od firmy ZLÍN ROBOTICS s robotem od firmy EPSON [13]

Tab. 8 Parametry pracoviště

Typ konstrukce	Svařovaná
Rám konstrukce	Ocel
Krytování	Průhledné
Umístění příslušenství	Součást konstrukce
Bezpečnostní prvky	Dvířka s magnetickými zámky, stop tlačítka, Fyzická bariéra (Hliníková)
Umístění robota	Na desce



Obr. 36 Robotické pracoviště Parmerit [14]

Tab. 9 Parametry pracoviště

Typ konstrukce	Svařovaná
Rám konstrukce	Ocel
Krytování	Zamřížované
Umístění příslušenství	Mimo konstrukci (pod konstrukcí)
Bezpečnostní prvky	Stop tlačítka, Optické závory
Umístění robota	Zavěšený na konstrukci

1.8 **Bezpečnostní prvky**

Tato kapitola popisuje bezpečnostní prvky robotických pracovišť. Tyto prvky slouží k zabezpečení pracoviště, dle platných norem. Zabraňují osobám, aby pronikly do pracovního prostoru pracoviště což by mohlo vést k úrazu nebo dokonce úmrtí.

1.8.1 **STOP tlačítka**

Mezi základní bezpečnostní prvky patří STOP tlačítka. Musí být na každém pracovišti vhodně umístěny a také na každém zařízení. Slouží k nouzovému vypnutí stroje. Umístění a počet řeší norma ČSN EN 62061.



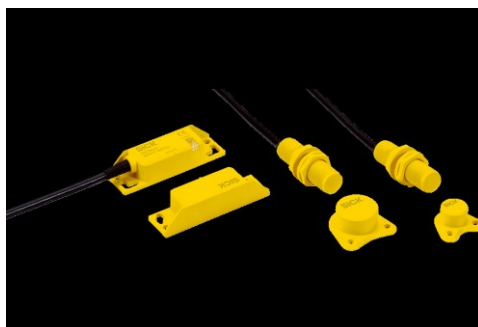
Obr. 37 STOP tlačítka [15]

1.8.2 **Fyzické bariéry**

Pod pojmem fyzická bariera si dokážeme představit objekt, který nám neumožňuje projít skrz něj. Většinou se jedná o rám z hliníku nebo jiného materiálu, který je vyplněn polykarbonátem nebo mříží. Přístup do pracoviště je umožněn pomocí dvířek s magnetickými zámky.

1.8.3 Magnetické zámky

Magnetický kontakt se skládá z jazýčkového kontaktu a permanentního magnetu. Jazýčkový kontakt je hermeticky utěsněna skleněná trubička, ve které jsou umístěny dva jazýčky z feromagnetických materiálů. Permanentní magnet je kov, který má magnetické pole bez působení vnějšího vlivu. Princip funkce je následovný, permanentní magnet se namontuje na dveře a jazýčkový kontakt na rám. V klidovém stavu je jazýčkový kontakt sepnutý, při oddálení magnetu (otevření dveří) dojde k rozepnutí. [16]



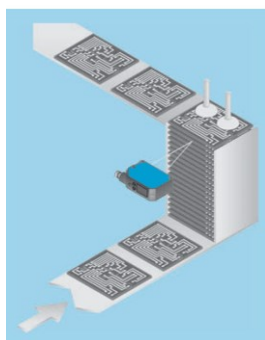
Obr. 38 Magnetické zámky od firmy SICK [17]

1.8.4 Optoelektrické senzory

Funguje na principu detekce světelného paprsku, přičemž se indikuje jeho odraz nebo jeho přerušení. Existují 3 varianty těchto zařízení.

1.8.4.1 Optické senzory přiblížení

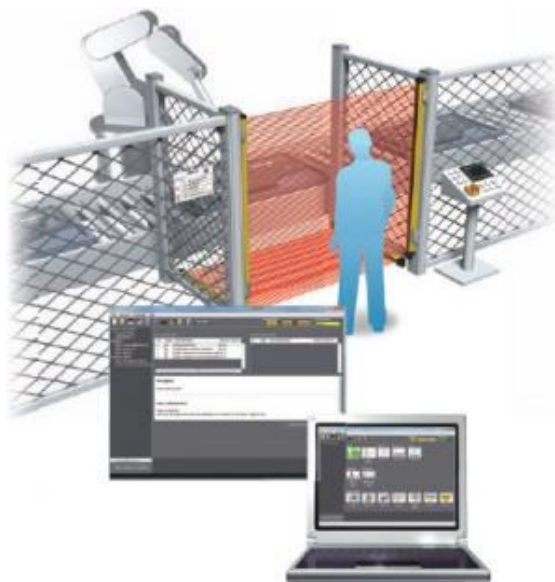
Slouží k detekci objektu, které se nachází v jeho detekčním poli. Princip senzoru je v detekci nebo měření množství odraženého světla dopadajícího na senzor. Skládá se z emitoru, který slouží k vysílání světelného paprsku a senzoru, který ho detekuje. Dokáže detekovat objekty až 50 metru vzdálené. Používá se například k detekci objektu na dopravnících, nastavení pozice či detekci posunu. [18]



Obr. 39 příklad použití senzoru přiblížení [18]

1.8.4.2 Reflexní světelné závory

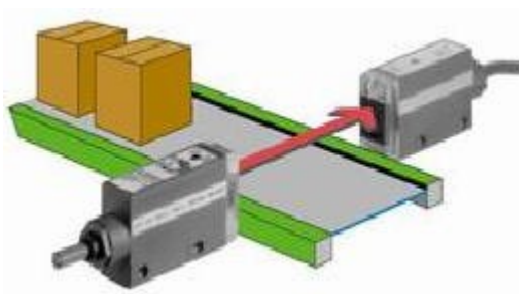
Funguje na principu detekce světelného paprsku, přičemž se indikuje jeho přerušení. Skládá se ze dvou částí, jedna část je aktivní, kde se nachází emitor a senzor, druhá část je reflexní. Emitor může být například LED dioda a senzor fototranzistor. Při složení vícero světelných závor dostaneme světelný závěs. Používá se hlavně k zabezpečení pracovišť.



Obr. 40 Ukázka zabezpečení pracoviště pomocí světelného závěsu OMRON F3SG-R [19]

1.8.4.3 Jednocestné optické závory

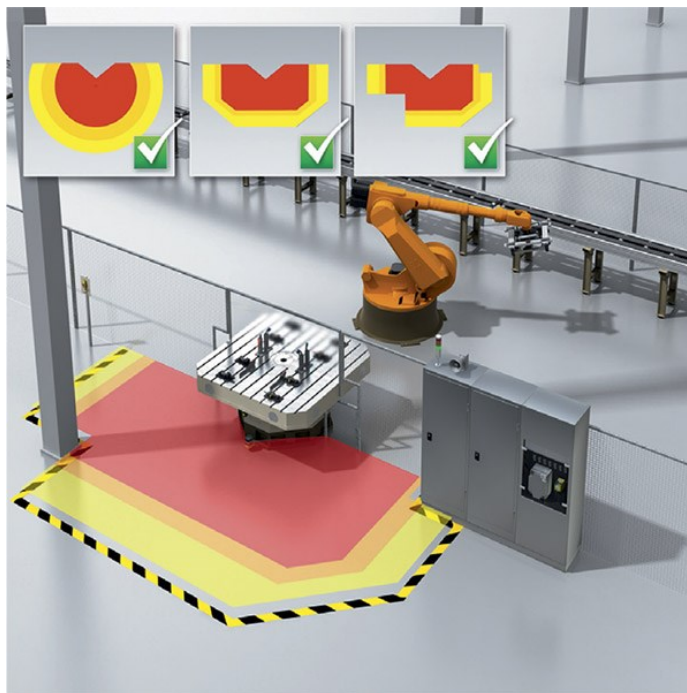
Patří k nejpřesnějším fotoelektrickým senzorům. Princip je stejný jako u reflexních světelných závor s tím rozdílem, že tam není reflexní člen. V jedné části je senzor a v druhé emitor a detekuje se přerušení paprsku. Je přesnější než reflexní z důvodu, že paprsek jde jenom jedním směrem. Tím pádem dochází k menšímu rušení. Dosah je až 350 metrů. Je ale dražší a jeho využití musí mít opodstatnění. Používá se například pro detekci polohy materiálu, osob nebo počítání dílu. [20] [21]



Obr. 41 Použití senzoru [20]

1.8.5 Laserové skenery

Slouží pro monitorování vymezeného prostoru. Oblast je pokrytá světelným paprskem, který je vyslán z optického vysílače. Oblast je rozdělená na dvě oblasti varovnou a bezpečnostní. Při narušení varovné zóny dojde ke zpomalení robota, v případě narušení bezpečnostní se robot zastaví. Úhel zorného pole je většinou od 180° do 270°.



Obr. 42 Zabezpečení nebezpečného prostoru laserovým skenerem microScan3 CORE [22]

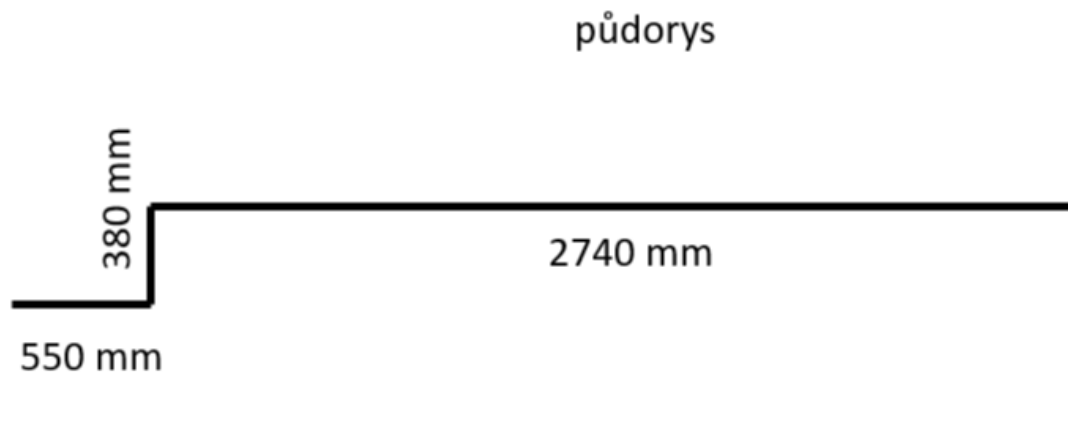
Na Obr. 42 můžeme vidět oblastí laserového skeneru, přičemž jsou zde 2 varovné zóny a jedná bezpečnostní, také je zde znázorněna přizpůsobivost skeneru.



Obr. 43 Laserové skenery od firmy SICK z 190° a 270° úhlem zorného pole [23]

2 Požadavkový list

Požadavkový list byl vypracován na základě získaných informací z rešerše. Obsahuje i požadavky, jež zadala katedra robotiky.



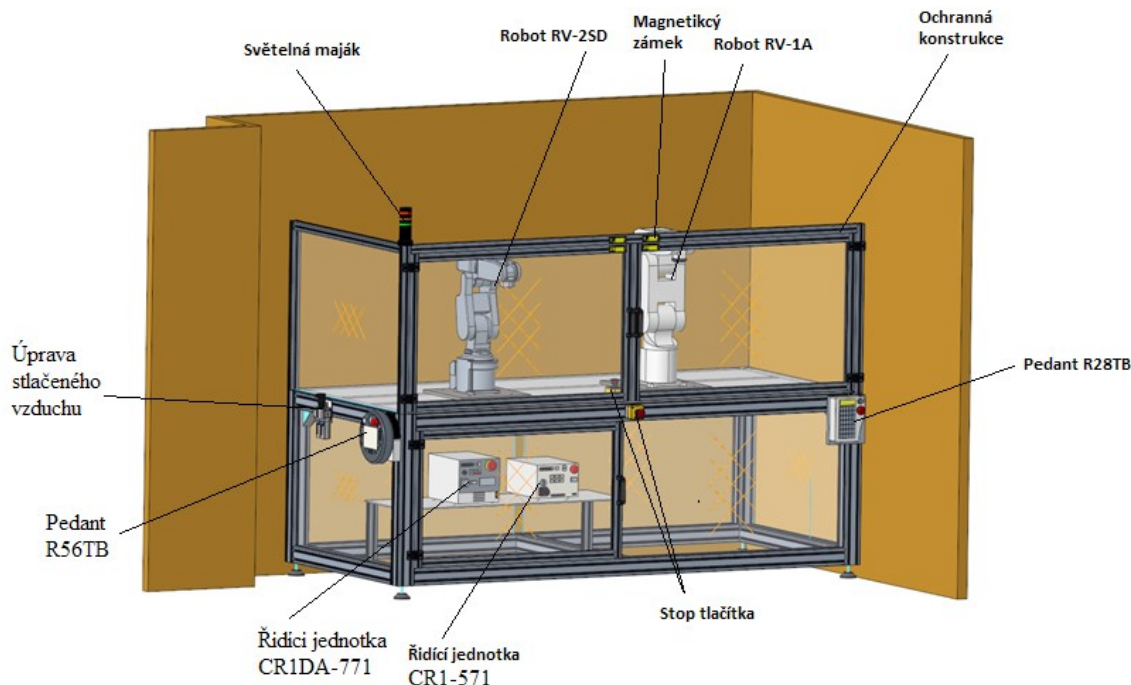
Obr. 44 Půdorys pracoviště

Tab. 10 Požadavkový list

Parametr	Hodnota	Poznámka
Počet robotu	2	Jedná se o roboty ze skladu UCR RV-1A a RV-2SD
Rozměry pracoviště	-	Viz. Obr. 44
Hmotnost	Nesmí překročit nosnost podlahy	-
Umístění příslušenství	-	Součástí konstrukce
Napětí	180 ÷ 253 V/AC	-
Stlačený vzduch	6 bar	-
Cena	Přijatelná	-
Bezpečnostní prvky	Primárně ze skladu	-
Hliníkové profily	ALUTEC	-
Bezpečnost	Dle platných norem	-

3 Varianty řešení

3.1 Varianta 1

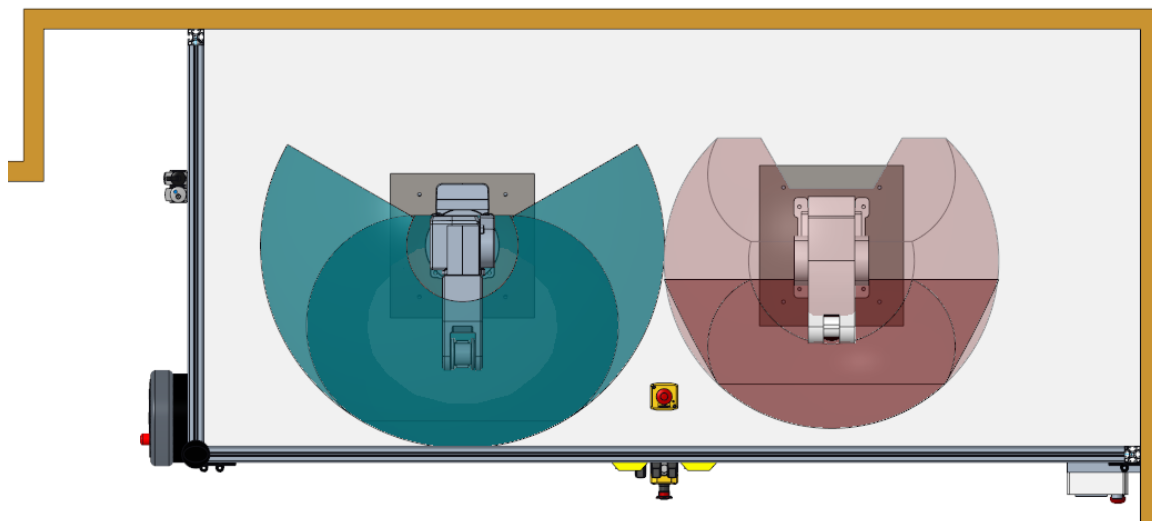


Obr. 45 Varianta 1

Konstrukce pracoviště je řešeno pomocí hliníkových profilů. Profily tvoří rám i ochrannou konstrukci. Rám je tvořený z hliníkových profilů o rozměrech 80x80x8 mm. Profily ochranné konstrukce mají rozměry 40x40x8 mm. Bezpečnost je zde zajištěna ochrannou konstrukcí.

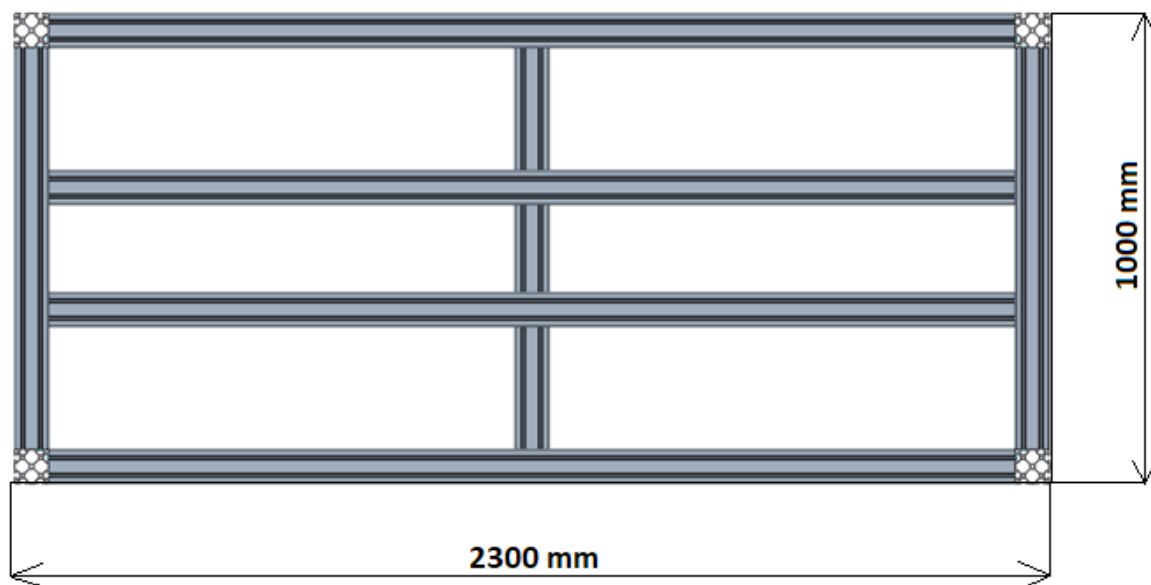
Ochranná konstrukce se skládá pouze ze dvou stěn, protože je pracoviště umístěno ve výklenku, zamezující přístup z ostatních dvou směrů. Přístup do pracoviště je zajištěn pomocí dveří, které jsou zabezpečeny magnetickými zámky.

Řídicí jednotky jsou umístěny společně na levé straně a přístup je umožněn pomocí dveří. Pedanty jsou umístěny každý u robota, jenž ovládá. Součástí rámu je i zařízení na úpravu stlačeného vzduchu.



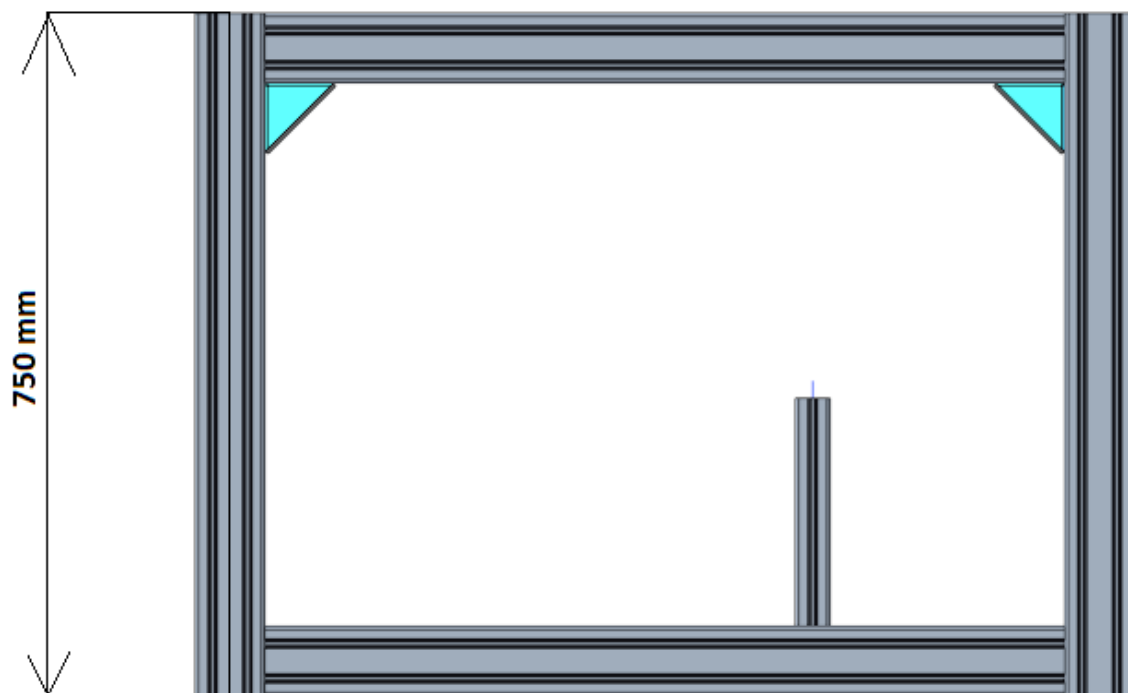
Obr. 46 Společná oblast

Na Obr. 46 je vidět společná oblast robotu, která je momentálně dotyk. Jelikož v zadání bakalářské práce bylo požadavkem jenom schopnost robotu spolu spolupracovat, zvolil jsem řešení, které je patrné z Obr. 47, kdy se společný prostor bude dít nastavovat pomocí posunutí robotu vůči sobě.



Obr. 47 Varianta 1, Horní pohled

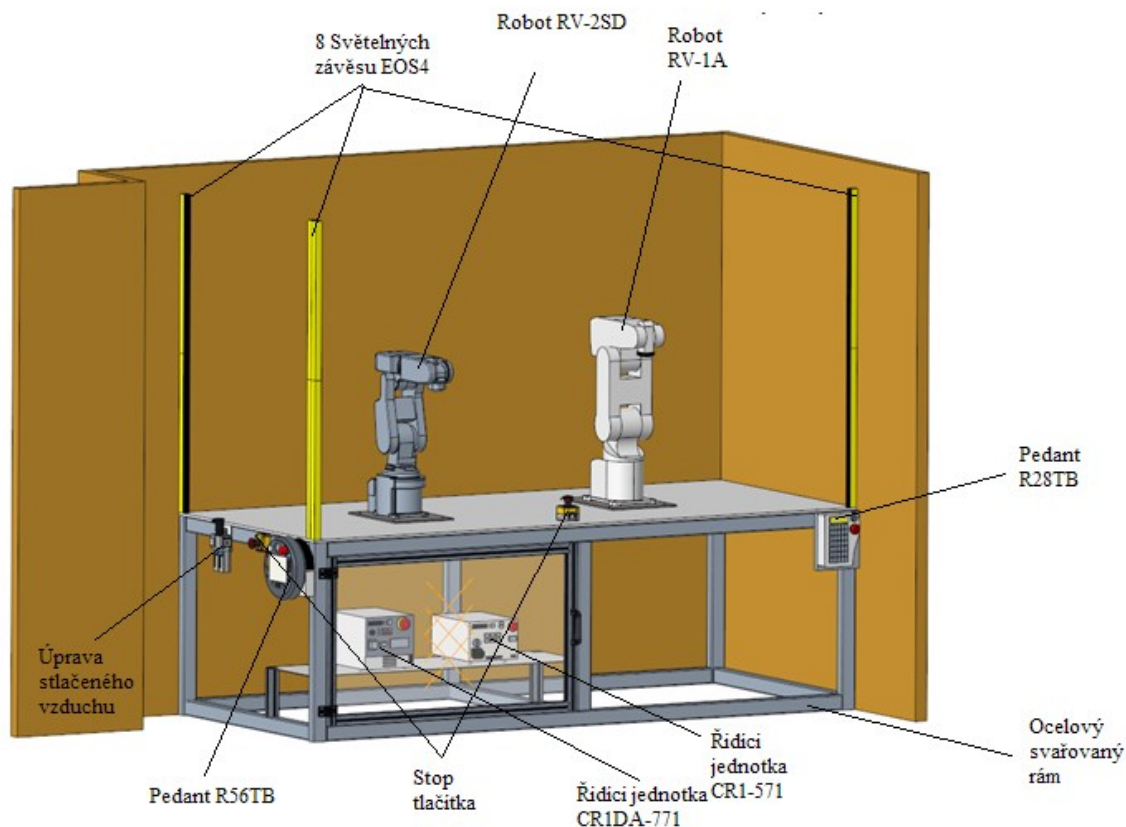
Na Obr. 47 je znázorněn horní pohled. Zde jsou vidět 2 profily uprostřed které jsou napříč. Profily mají dvě funkce. První je zpevnění konstrukce a druhá je nesení robotu a možnost posunu robotů vůči sobě. To znamená možnost zvětšit nebo zmenšit společný pracovní prostor.



Obr. 48 Varianta 1, Boční pohled

Na Obr. 48 je znázorněn boční pohled rámu, také zde vidíme úhelníky, pomocí kterých se budou profily spojovat.

3.2 Varianta 2



Obr. 49 Varianta 2

Rám konstrukce je z ocelových svařovaných profilu o rozměrech 60x40x4 mm. Bezpečnostní prvky jsou zde optické závory EOS4 ze skladu UCR, jenž zamezují přístup ve dvou směrech, jelikož jsou světelné závěsy vysoké jenom 610 mm musí být použité 2 závěsy, které budou postaveny na sobě. Dvířka umožňující přístup k řídicím jednotkám jsou z hliníkových profilu 40x40x8. Umístění řídicích jednotek a pedantu je stejné jako u varianty 1. Je zde změna v umístění vnějšího bezpečnostního tlačítka, které se nachází na boční straně

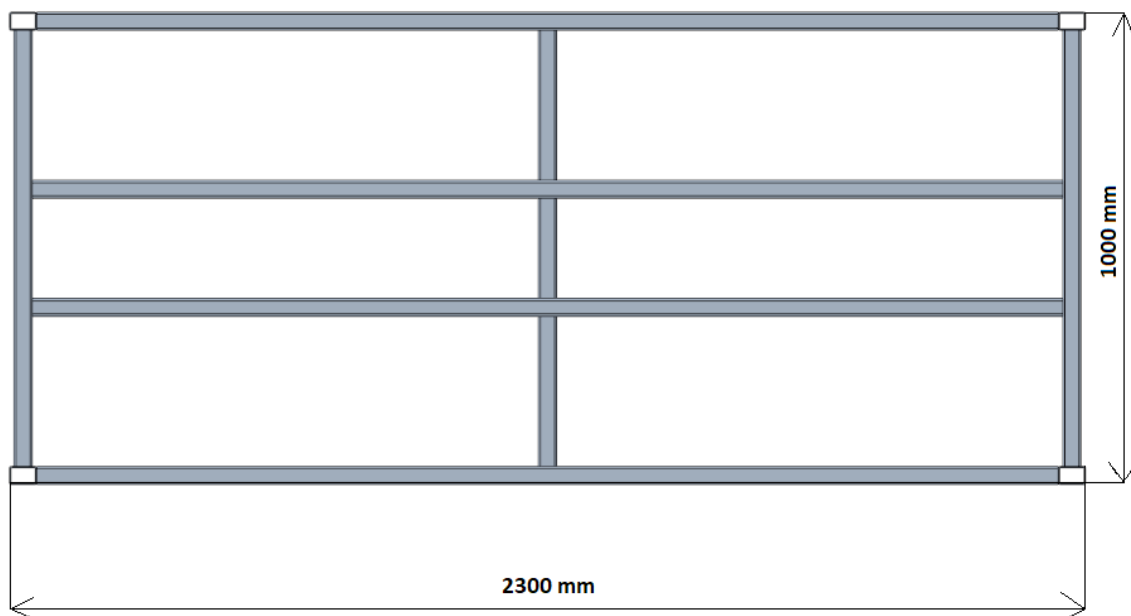
Světelné závěsy se budou montovat převážně na stěny, jelikož nám to ušetří práci se spojením světelných závěsů na sebe. Jenom světelné závěsy, které se nenachází v blízkosti stěn budou muset být přimontované k sobě pomocí spojovacích prvků.

Dle normy ISO 13855, musí mít světelné závěsy určenou bezpečnou vzdálenost od robotu. Tato vzdálenost je vypočtená v kap3.2.1. Hodnota vzdálenosti pro toto použití činí 500 mm. Existují dva způsoby jak Variantu 2 upravit, aby splňovala tuto podmínku.

První způsob je světelné závěsy, umístit mimo stůl. Tento způsob je, ale velice nepraktický z důvodu, že v zabezpečené oblasti by se nacházeli řídicí jednotky, pedanty robotu a další prvky jenž musí být dostupné. To znamená že tyto prvky musíme umístit mimo

pracoviště, což vede dalšímu k problému, a to k vedení kabeláže, která musí být vedena tak aby ji světelné závory nedetekovali.

Druhým, způsobem je rozšířit stůl pracoviště. Nevýhoda tohoto řešení je v jeho ceně, jelikož bude pracoviště zvětšeno o 500 mm na šířku a 500 mm na délku.



Obr. 50 Varianta 2, Horní pohled

Na Obr. 50 je vidět, že rozmístění profilu je stejné jako u varianty 1. Prostřední profily mají stejný účel jako u varianty 1. V této variantě se vyvrtají do profilu díry, které budou od sebe vzdálené o určitou vzdálenost, aby mohlo dojít k nastavení robotu vůči sobě.



Obr. 51 Varianta 2, Boční pohled

3.2.1 Výpočet bezpečné vzdálenosti EOS4

Výpočet bezpečné vzdálenosti dle ISO 13855

$$S = K * T + 8 * (d - 14) [mm] [24] \quad (1)$$

Kde

T – doběh

d – rozlišení bezpečnostního světelného závěsu v milimetrech, d = 14 mm

K – Přístupová rychlost lidského těla, (1600 nebo 2000 mm/s)

$$T = t_1 + t_2 [s] \quad (2)$$

Kde

t_1 – čas potřebný k zastavení stroje

Volil jsem t_1 od RV-2FRB jedná se o novější typ robotu RV-2SD, proto čas zvětším o 20 %. Čas potřebný k zastavení robotu je 0,76 s. Tento čas odpovídá úplnému zastavení osy J2 na maximálním rameni při 66 % zatížení a rychlosti [25], tento čas je také zvětšen o 20 %.

$$t_1 = 0,76$$

$$t_2 - \text{odezva senzoru}, t_2 = 0,009 \text{ s}$$

$$T = 0,76 + 0,009 = 0,769$$

$$S = 2000 \cdot 0,769 + 8 \cdot (14 - 14) = 1538 \text{ mm}$$

Podmínka:

$$S \leq 500 = 978 \leq 500 \text{ Nesplňuje} \Rightarrow \text{místo } K = 2000 \text{ použijeme } K = 1600$$

$$S = 1600 * T + 8 * (d - 14)$$

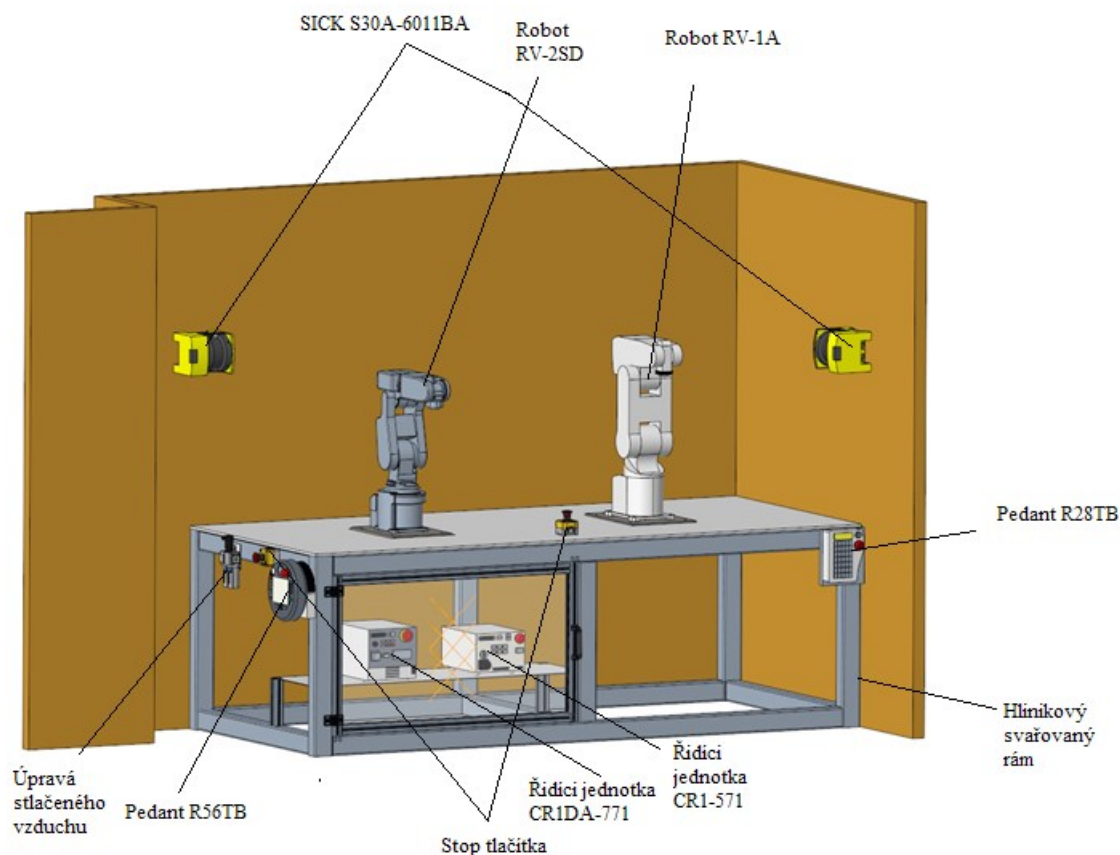
$$S = 1600 \cdot 0,769 + 8 \cdot (14 - 14) = 1230,4 \text{ mm}$$

Podmínka:

$$S \leq 500 = 788,4 \leq 500 \Rightarrow S = 500 \text{ mm}$$

Vzdálenost senzoru od robotu (Dosahu robotu) musí být 500 mm

3.3 Varianta 3

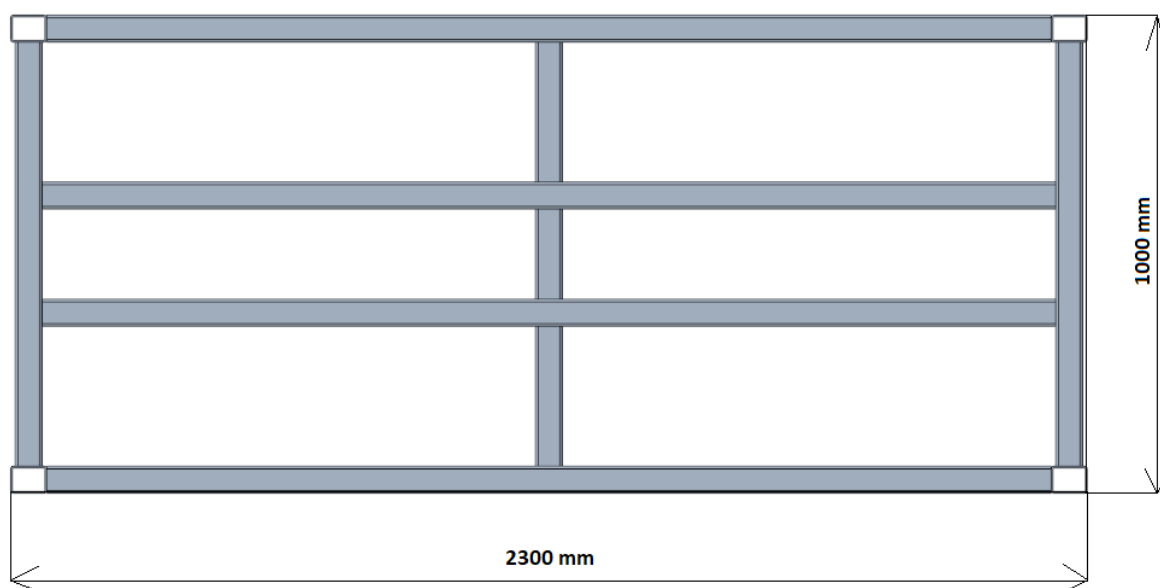


Obr. 52 Varianta 3

Tato varianta má hliníkový svařovaný rám o rozměrech profilu 80x60x4 mm. Bezpečnostní prvky jsou zde laserové skenery SICK S30A-6011BA, jež jsou otočený o 90°. Tento typ senzoru je ve skladu UCR. Jsou umístěny na hliníkové konstrukci o rozměrech 40x40x8 mm. Příslušenství je umístěné stejně jako v přechozích variantách.

Aby varianta byla z hlediska bezpečnostních norem vhodná, musí být laserové skenery v minimální vzdálenosti 500 mm od dosahu robotu. Vznikl by stejný problém, který jsem popsal u varianty 2.

Nejvýraznější nevýhoda této varianty je nutnost koupit druhý laserový skener to povede k výraznému navýšení ceny.



Obr. 53 Varianta 3, Horní pohled



Obr. 54 Varianta 3, Boční pohled

3.3.1 Výpočet bezpečné vzdálenosti SICK S30A-6011BA

Jelikož bude laserový skener fungovat jako Optický závěs, výpočet bude dle normy ISO 13855.

Výpočet bezpečné vzdálenosti dle ISO 13855

$$S = K * T + 8 * (d - 14) [mm] [24] \quad (1)$$

Kde

T – doběh

d – rozlišení bezpečnostního světelného závěsu v milimetrech, d = 30 mm

K – Přístupová rychlost lidského těla, (1600 nebo 2000 mm/s)

$$T = t_1 + t_2 [s] \quad (2)$$

Kde

t_1 – čas potřebný k zastavení stroje, = 0,76

t_2 – odezva senzoru, $t_2 = 0,060$ s

$$T = 0,76 + 0,06 = 0,82$$

$$S = 2000 \cdot 0,82 + 8 \cdot (30 - 14) = 1768 \text{ mm}$$

Podmínka:

$$S \leq 500 = 1208 \leq 500 \text{ Nesplňuje}$$

$$S = 1600 \cdot 0,82 + 8 \cdot (30 - 14) = 1680 \text{ mm}$$

Podmínka:

$$S \leq 500 = 992 \leq 500 \Rightarrow S = 500 \text{ mm}$$

Vzdálenost senzoru od robotu (Dosahu robotu) musí být 500 mm

4 Vícekriteriální analýza

Optimální varianta bude vybrána pomocí vícekriteriální analýzy.

4.1 Mé hodnocení

Tab. 11 Kritéria

Označení kritéria	Kritérium	Charakteristika kritéria
K1	Konstrukce	Výrobní náročnost
K2	Konstrukce	Modularita jednotlivých profilu.
K3	Náročnost manipulace	Schopnost přemístit pracoviště
K4	Cena	Způsob a spolehlivost zabezpečení
K5	Rozměry pracoviště	Zabezpečený prostor

Tab. 12 Popis kritérii k jednotlivým variantám

Kritérium	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
K1	Nenáročné na výrobu, profily budou dodány od výrobce na přesně dané rozměry, profily nebude nutné upravovat pro montáž.	Velmi náročné profily se budou před samotným svařením muset upravit, po svaření se musí profily očistit, také jelikož se jedná o ocelové profily musí být chráněny proti korozi.	Náročné profily se budou před samotným svařením muset upravit, po svaření se musí profily očistit
K2	Modulární	Nemodulární	Nemodulární
K3	Manipulativní	Nemanipulativní	Nemanipulativní
K4	42 800 Kč	18 000 Kč	120 000 Kč
K5	2,57 m ²	4,55 m ²	4,55 m ²

Kritéria zvolené pro tuto analýzu byly konzultovaná s Ing. Michalem Vocetkou, jenž má s konstruováním buněk bohaté zkušenosti. Kritéria jsou značně zjednodušená, abych byl schopen vybrat optimální variantu. Kritérium K2 a K3, můžou někomu připadat stejná v tomto případě mě na to upozornil Ing. Daniel Huczala, který navrhl abych tyto dvě kritéria spojil do Kritéria – uživatelská přívětivost pro budoucí provoz. Dle mého názoru to není zapotřebí, protože na radu Ing. Michala Vocetky kritérium K2 a K3 nabývají hodnot 0 anebo 1. Pokud bych tato kritéria spojil mělo by toto spojené kritérium buď hodnoty 0 do 2 nebo 1 až 7.

4.1.1 Určení významnosti kritérií

Zde určovat významnost jednotlivých kritérií

Tab. 13 Určení významnosti

Porovnávané páry				Počet voleb	Významnost
K1	K1	K1	K1	3,5	1,875
K2	K3	K4	K5		
	K2	K2	K2	0,5	1,125
	K3	K4	K5		
		K3	K3	0,5	1,125
		K4	K5		
			K4	3,5	1,875
			K5	2	1,5

$$v = \frac{1}{4} \cdot n + 1 \quad (3)$$

Kde

n je počet voleb.

Nejvýznamnější kritéria jsou dle mého názoru výrobní náročnost (K1) a celková cena (K4).

4.1.2 Varianta 1

Tab. 14 Hodnocení varianty 1

Kritérium	Hodnota	Významnost	Výsledek
K1	7	1,875	13,125
K2	1	1,125	1,125
K3	1	1,125	1,125
K4	3	1,875	5,625
K5	7	1,5	10,5
			31,5

4.1.3 Varianta 2

Tab. 15 Hodnocení varianty 2

Kritérium	Hodnota	Významnost	Výsledek
K1	2	1,875	3,75
K2	0	1,125	0
K3	0	1,125	0
K4	7	1,875	13,125
K5	3	1,5	4,5
			21,375

4.1.4 Varianta 3

Tab. 16 Hodnocení varianty 3

Kritérium	Hodnota	Významnost	Výsledek
K1	3	1,875	5,625
K2	0	1,125	0
K3	0	1,125	0
K4	1	1,875	1,875
K5	3	1,5	4,5
			12

4.2 Hodnocení doktorandů

Pro objektivnější hodnocení jsem požádal dva doktorandy Ing. Michala Vocetku a Ing. Daniela Huczalu, aby mi zhodnotili jednotlivé varianty. Jejich hodnocení bude nezaujaté a také mají větší zkušenosti.

4.3 Hodnocení Ing. Daniela Huczaly

4.3.1 Určení významnosti

Tab. 17 Určení významnosti (Ing. Daniel Huczala)

Porovnávané páry				Počet voleb	Významnost
K1	K1	K1	K1	1	1,25
K2	K3	K4	K5		
	K2	K2	K2	3	1,75
	K3	K4	K5		
		K3	K3	2	1,5
		K4	K5		
			K4	4	2
			K5	0	1

4.3.2 Varianta 1

Tab. 18 Hodnocení varianty 1 (Ing. Daniel Huczala)

Kritérium	Hodnota	Významnost	Výsledek
K1	6	1,25	7,5
K2	1	1,75	1,75
K3	1	1,5	1,5
K4	3	2	6
K5	5	1	5
			21,75

4.3.3 Varianta 2

Tab. 19 Hodnocení varianty 2 (Ing. Daniel Huczala)

Kritérium	Hodnota	Významnost	Výsledek
K1	4	1,25	5
K2	0	1,75	0
K3	0	1,5	0
K4	6	2	12
K5	3	1	3
			20

4.3.4 Varianta 3

Tab. 20 Hodnocení varianty 3 (Ing. Daniel Huczala)

Kritérium	Hodnota	Významnost	Výsledek
K1	2	1,25	2,5
K2	0	1,75	0
K3	0	1,5	0
K4	1	2	2
K5	2	1	2
			6,5

4.4 Hodnocení Ing. Michala Vocetky

4.4.1 Určení významnosti

Tab. 21 Určení Významnosti (Ing. Michal Vocetka)

Porovnávané páry				Počet voleb	Významnost
K1	K1	K1	K1	1	1,25
K2	K3	K4	K5		
	K2	K2	K2	3	1,75
	K3	K4	K5		
		K3	K3	0	1
		K4	K5		
			K4	3	1,75
			K5	3	1,75

4.4.2 Varianta 1

Tab. 22 Hodnocení varianty 1 (Ing. Michal Vocetka)

Kritérium	Hodnota	Významnost	Výsledek
K1	7	1,25	8,75
K2	1	1,75	1,75
K3	0	1	0
K4	2	1,75	3,5
K5	7	1,75	12,25
			26,25

4.4.3 Varianta 2

Tab. 23 Hodnocení varianty 2 (Ing. Michal Vocetka)

Kritérium	Hodnota	Významnost	Výsledek
K1	3	1,25	3,75
K2	0	1,75	0
K3	1	1	1
K4	3	1,75	5,25
K5	4	1,75	7
			17

4.4.4 Varianta 3

Tab. 24 Hodnocení varianty 3 (Ing. Michal Vocetka)

Kritérium	Hodnota	Významnost	Výsledek
K1	3	1,25	3,75
K2	0	1,75	0
K3	1	1	1
K4	1	1,75	1,75
K5	2	1,75	3,5
			10

4.5 Zhodnocení

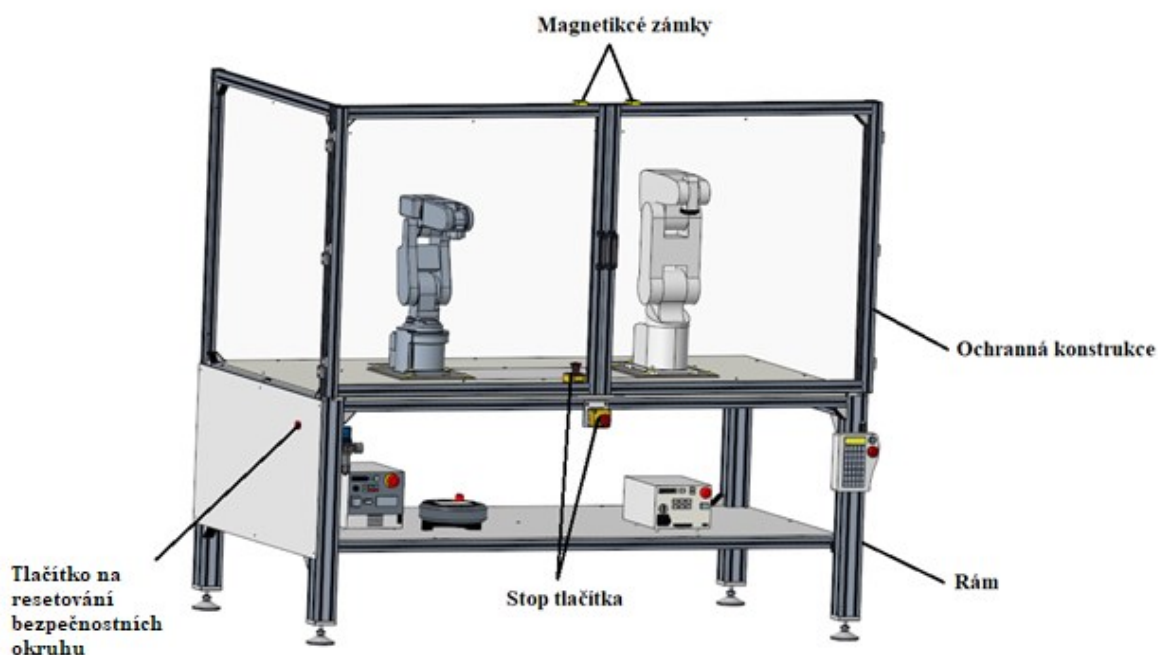
Ve všech 3 hodnocení měla varianta 1 nejlepší hodnocení. Byla vybrána jak v hodnocení mém, tak také v hodnocení od obou doktorandů. Za připomínku stojí, že u hodnocení Ing. Daniela Huczaly byla varianta 1 jenom o málo lepší než varianta 2, ale u Ing. Michala Vocetky tato varianta měla drtivý náskok od ostatních variant. Tento rozdíl vznikl od rozdílného určení významnosti jednotlivých kritérií.

Cena (K4), jenž byla u všech hodnocení zvolena jako nejdůležitější kritérium byla nejlepší u varianty 2, což je dané svařovanou konstrukcí a nulovými náklady na pořízení světelných závěsu. Z hlediska konstrukce rámu vyšla nejlépe varianta montované hliníkové konstrukce, měla nejmenší výrobní náročnost (K1), nejlépe přizpůsobitelná (K2), snadno se může přemístit (K3), ale má nejvyšší pořizovací cenu.

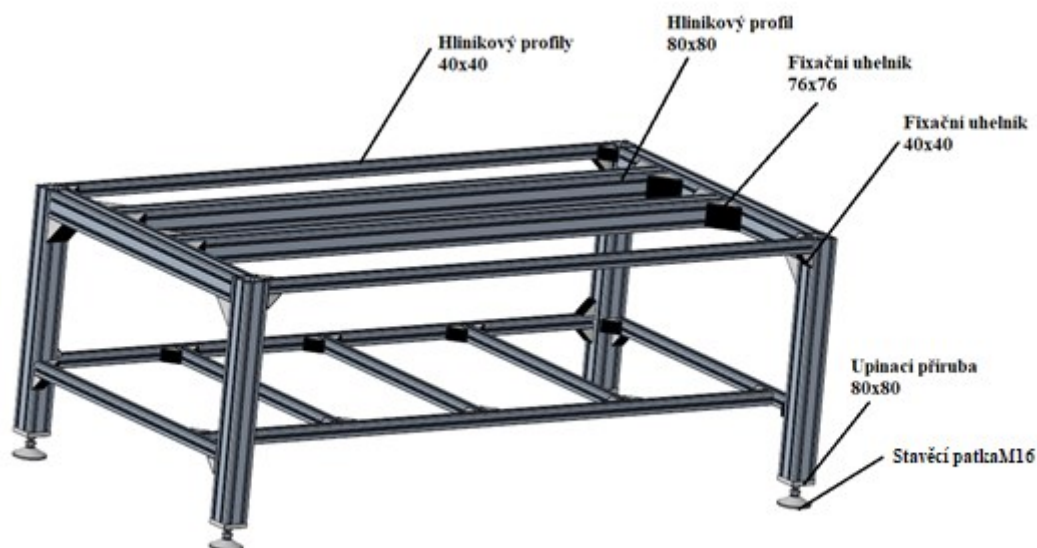
Nejlepší možné zabezpečení je ochranná konstrukce a to proto, že mělo nejmenší potřebný zabezpečovací prostor. Rozhodl jsem se tak proto, že i když u světelných závěsu jsou nulové minimální náklady na jejich pořízení, jelikož jsou ve skladu UCR. Musel by se rozšířit rám stolu, což by vedlo k navýšení ceny.

5 Popis vybrané varianty

3D model varianty je vytvořen v programu CREO 5. Hlavní prvky jsou rám z hliníkových profilů, ochranná konstrukce také z hliníkových profilů, magnetické zámky a stop tlačítka. Je zde použito i tlačítko na resetování bezpečnostního okruhu, tento prvek byl využit z výukového pracoviště s robotem ABB IRB 140 na UCR [5]. Profily, spojovací prvky a většina doplňků jsou od firmy Alutec KK.

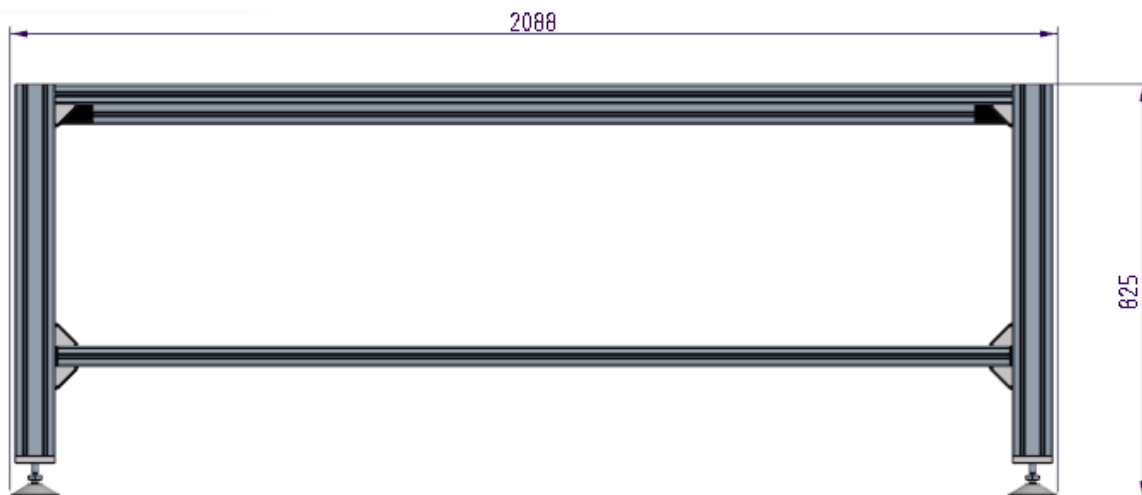


Obr. 55 Popis vybrané varianty



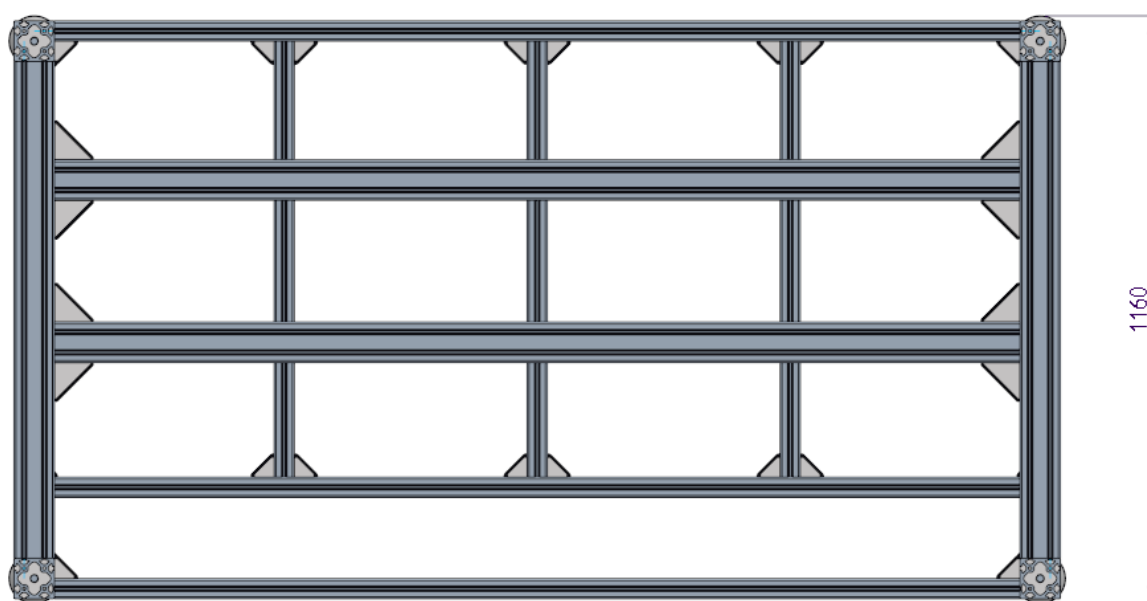
Obr. 56 Rám

Rám se skládá z hliníkových profilů od firmy Alutec. Na nosnou část rámu, která je vidět na Obr. 56, byli použity profily 80x80 s drážkou 8 mm, ostatní profily jsou o rozměrech 40x40 mm. Všechny profily jsou k sobě připojeny pomocí fixačních úhelníků. Stavěcí patky jsou připojeny k rámu pomocí upínacích přírub.



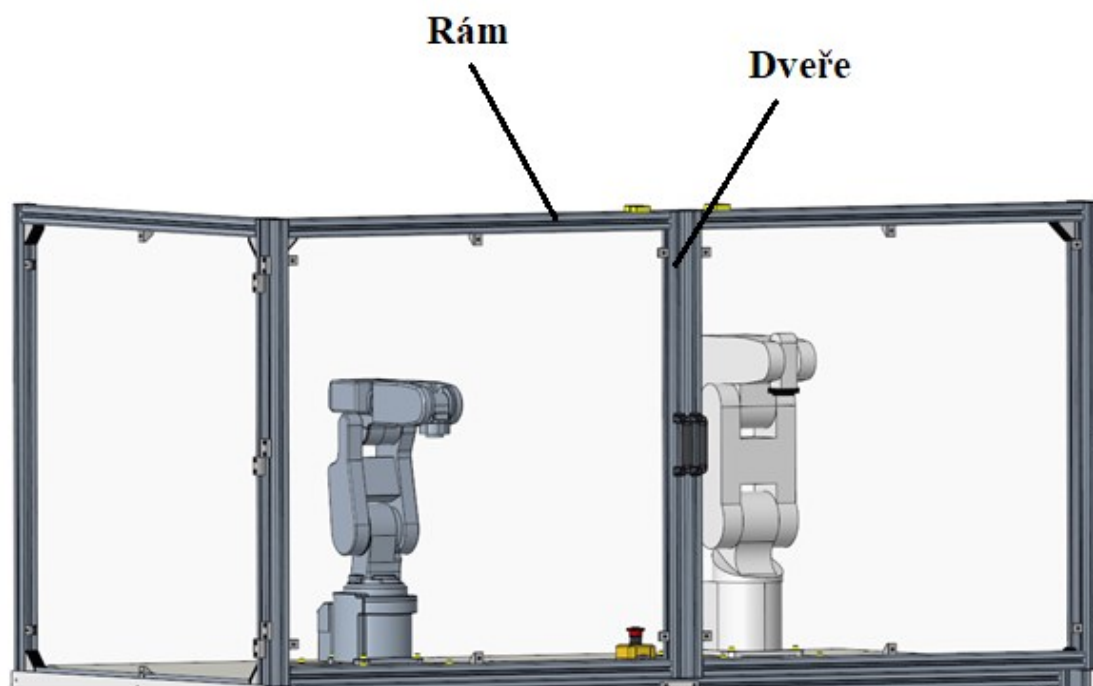
Obr. 57 Přední pohled rámu

Na Obr. 57 jsou maximální rozměry rámu včetně stavěcích patek.



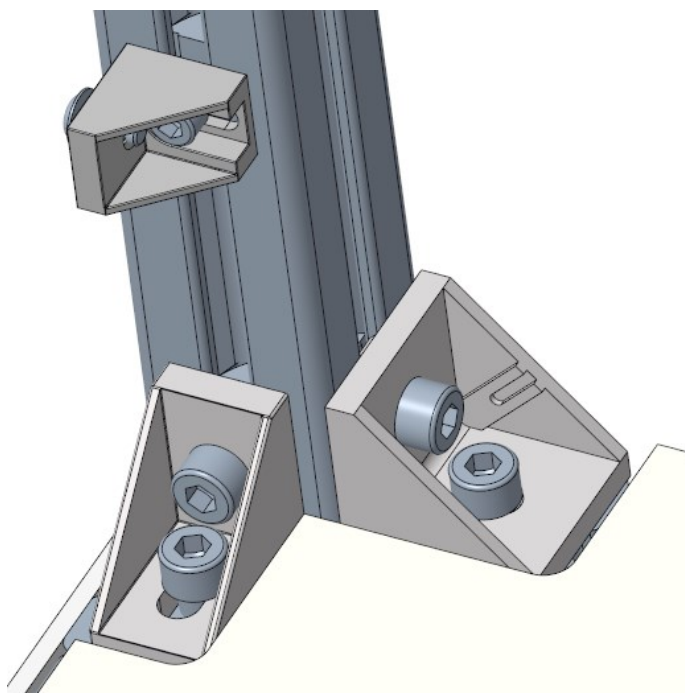
Obr. 58 Horní pohled rámu

Na Obr. 58 je horní pohled rámu, kde je znázorněno rozložení jednotlivých profilů. Profily, jež budou sloužit pro umístění robotu na rám jsou umístěny přes celou délku rámu, jelikož díky tomu bude možné roboty vůči sobě posouvat, a tak tvořit různorodý společný pracovní prostor. Spodní profily slouží pro zpevnění rámu a také pro umístění spodní desky na které budou umístěny řídicí jednotky a další příslušenství.



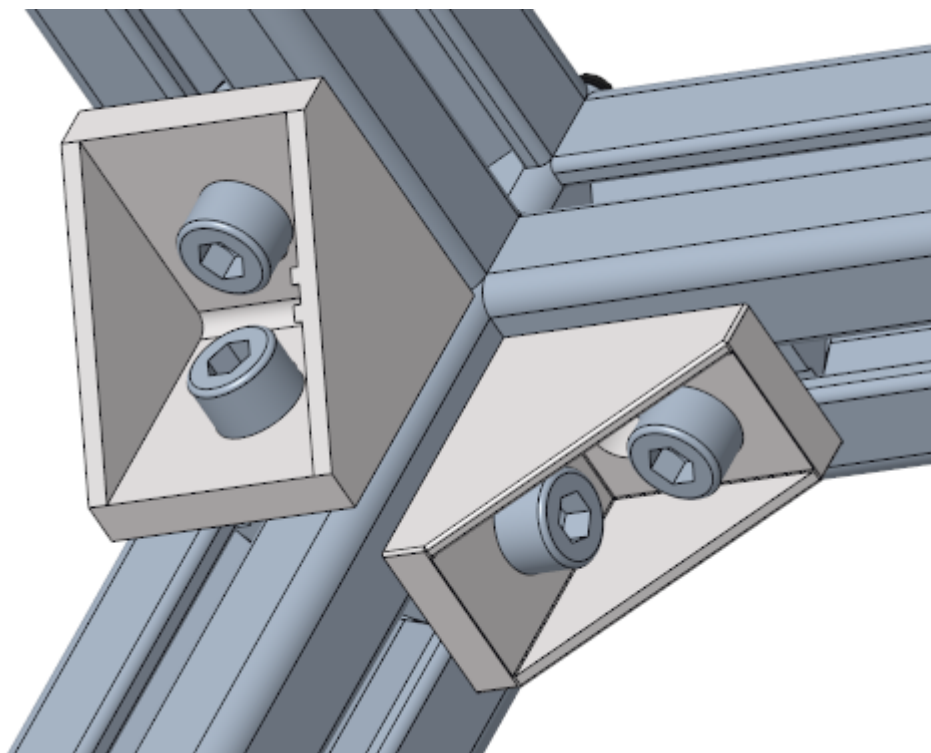
Obr. 59 Ochranná konstrukce

Ochranná konstrukce se skládá z rámu a dveří, které jsou zabezpečeny proti otevření za provozu robotu magnetickými zámky.



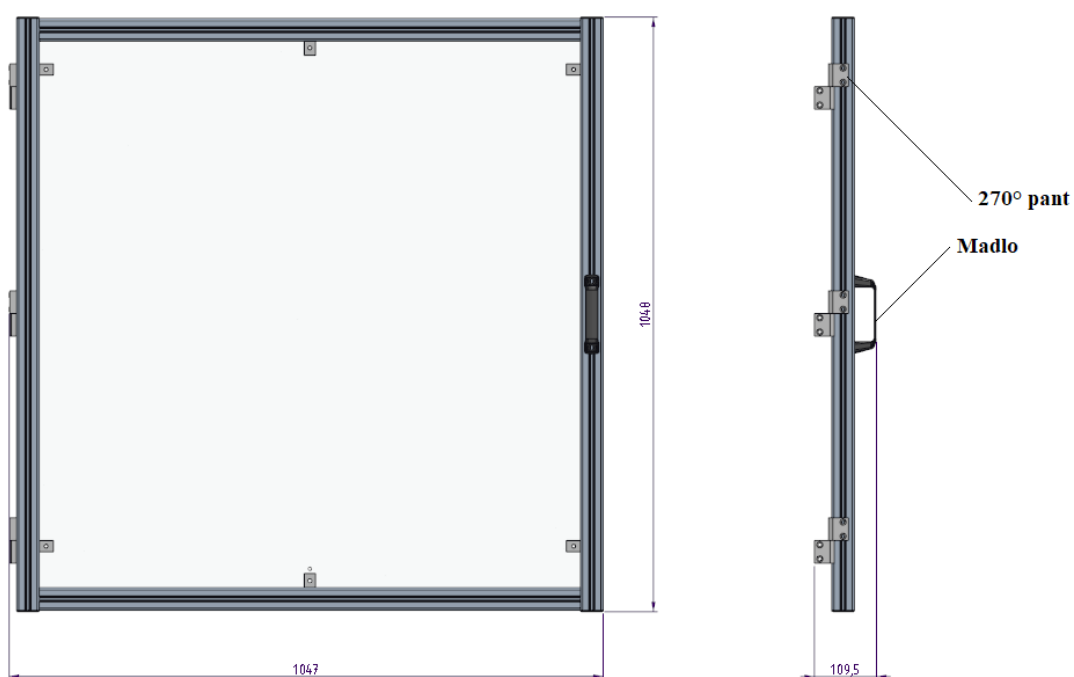
Obr. 60 Spojení ochranné konstrukce s rámem

Ochranná konstrukce je připojena k rámu pomocí fixačních úhelníků viz. Obr. 60.



Obr. 61 detail připojení jednotlivých profilů rámu

Pro smontování profilu k sobě jsou použity fixační úhelníky 40x40 mm a 40x25 mm. Pro uchycení polykarbonátu tloušťky 4 mm, který bude vyplňovat boční stranu jsou použity úchyty panelů.



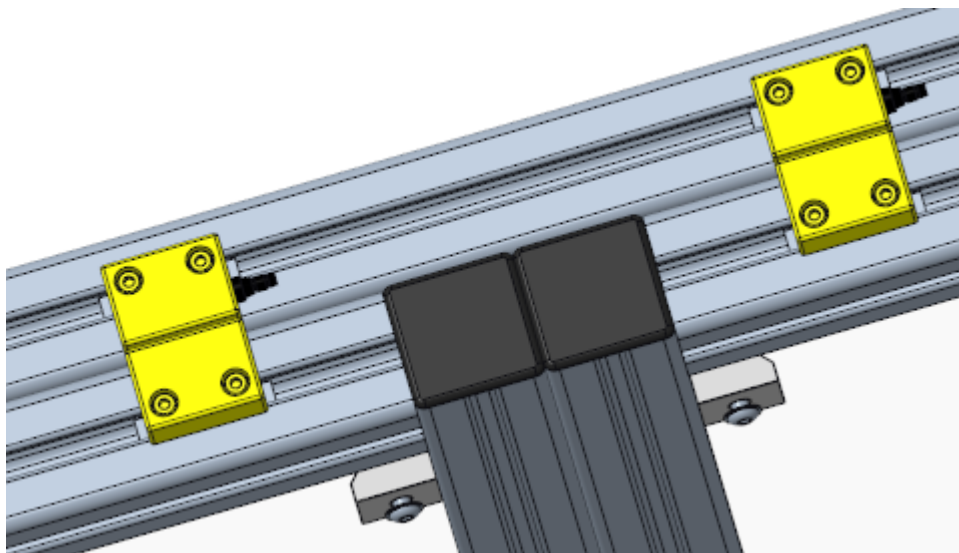
Obr. 62 Dveře.

Na Obr. 62 jsou základní rozměry dveří. Také byli použity 270° panty. Dveře se skládají ze 4 profilu, které jsou k sobě přimontovaný pomocí šroubu s válečky viz. Obr. 63. Pro uchycení 4 mm polykarbonátu jsou použity jako v předchozím případě úchyty panelu.

Úchyt na panely

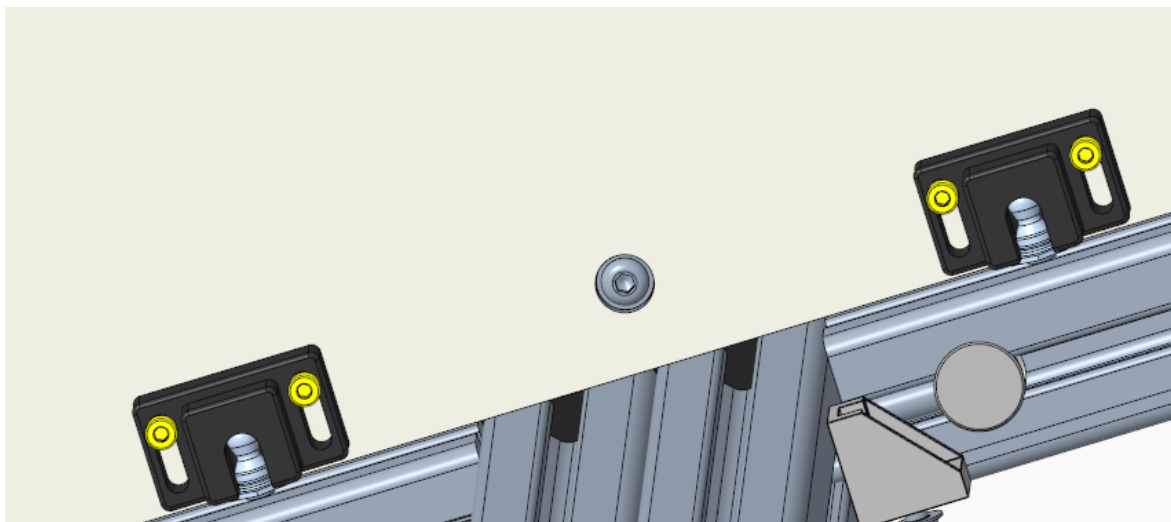


Obr. 63 Detail dveří



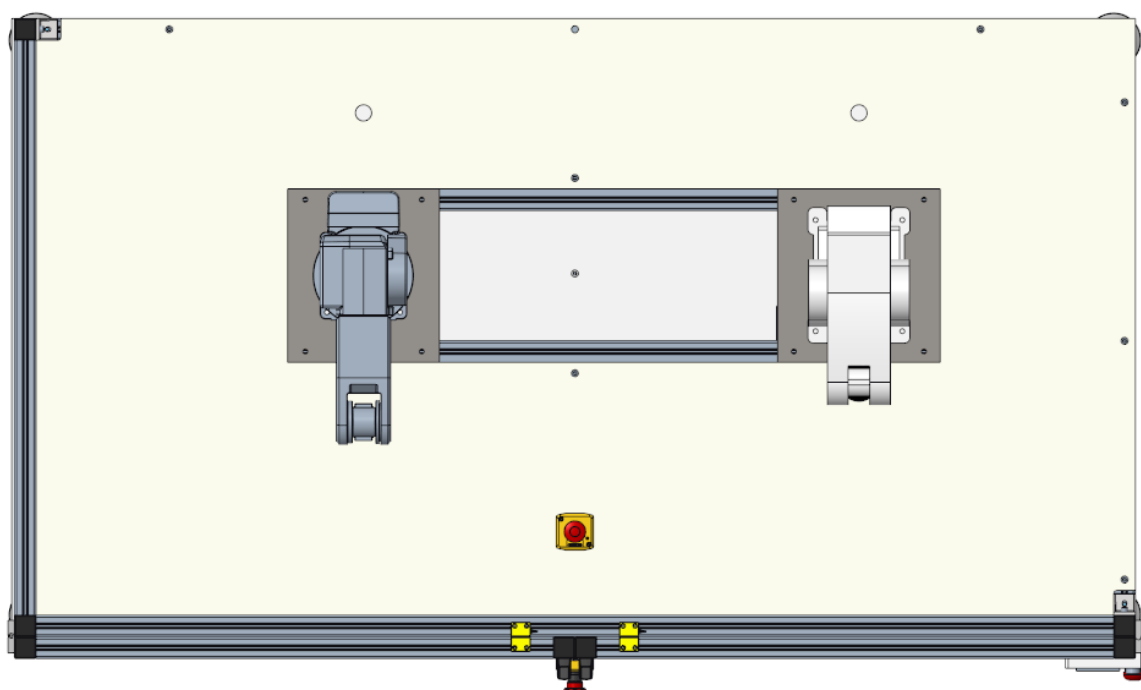
Obr. 64 Magnetické zámky

Každé dveře mají svůj magnetický zámek SICK RE13 SAC viz. Obr. 64. z důvodu, aby se nemuseli otevírat obojí dveře, kdyby byl využíván jenom jeden robot.



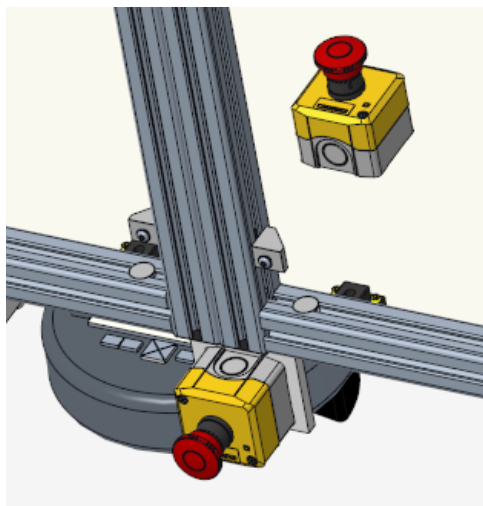
Obr. 65 Dveřní západky

Pro zajištění dveří proti samovolnému otevření jsou zde použity kuličkové západky od Itemu.

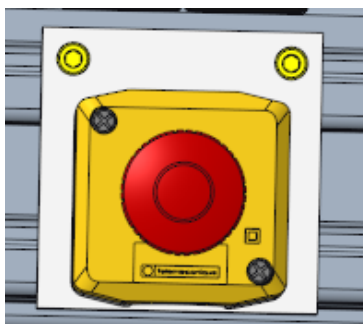


Obr. 66 Horní pohled

Krycí deska, jenž je z laminátu tloušťky 10 mm je navrhnutá tak aby bylo možné roboty vůči sobě nastavovat, je to proto jelikož není v zadání přesně definovaná společná oblast robotu. To umožní tuto oblast měnit podle libosti, přičemž pokud se nalezne ideální společná oblast, druhá část krycí desky se upraví na požadované části potřebné k úplnému zakrytí pracoviště. V desce jsou vyvrtány dva otvory na přípojovací kabely. Deska připojena pomocí 14 šroubu M6x12 s podložkou.



Obr. 67 Stop tlačítka.



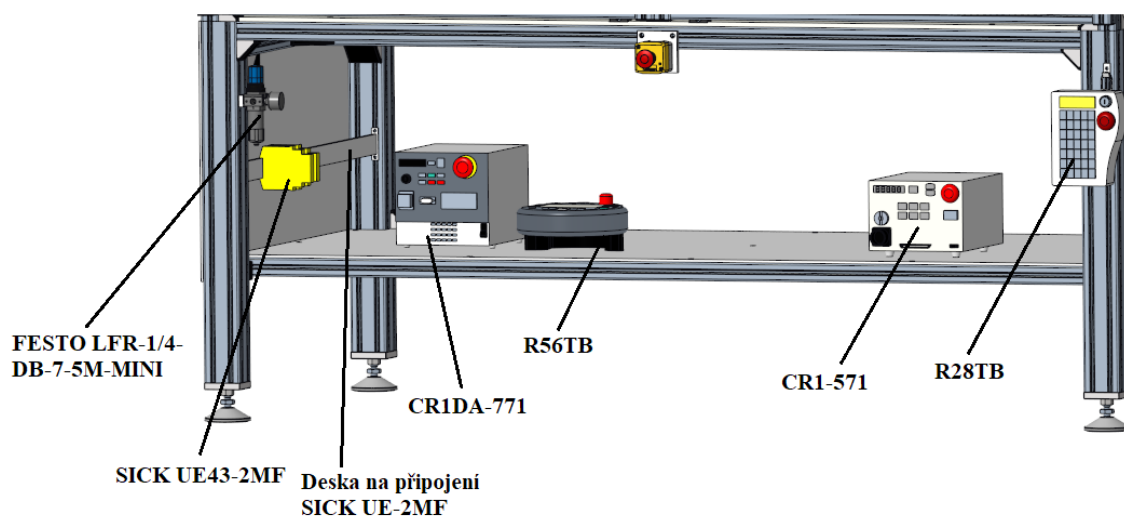
Obr. 68 Detail na desku pro Stop tlačítko

Dle požadavku je jedno tlačítko umístěno v pracovišti a jedno vně pracoviště viz. Obr. 67. Vnější tlačítko je k pracovišti přimontováno pomocí desky, která je spojena s rámem 2 šrouby M6x14 a maticovými kameny.



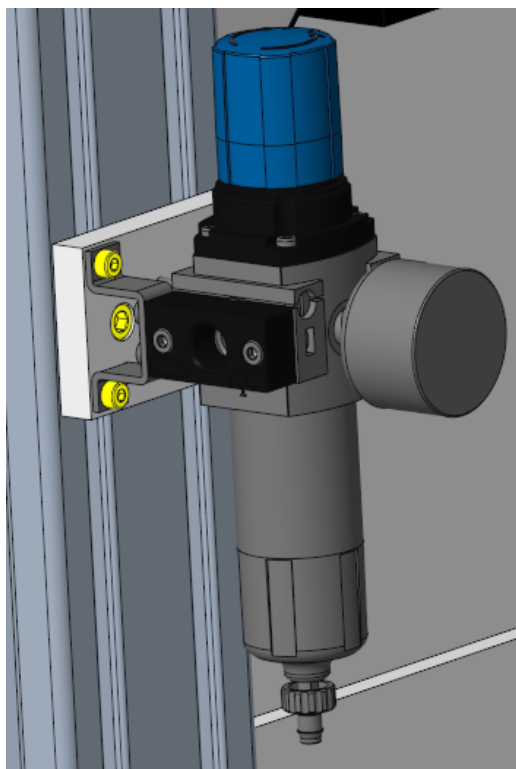
Obr. 69 Boční kryt

Spodní rám je zakrytovaný jenom z jedné strany plastovým panelem tloušťky 4 mm, jelikož ostatní strany jsou kryté pomocí stěn. Připevnění této desky je pomocí 6 šroubů M6 a maticových kamenů.



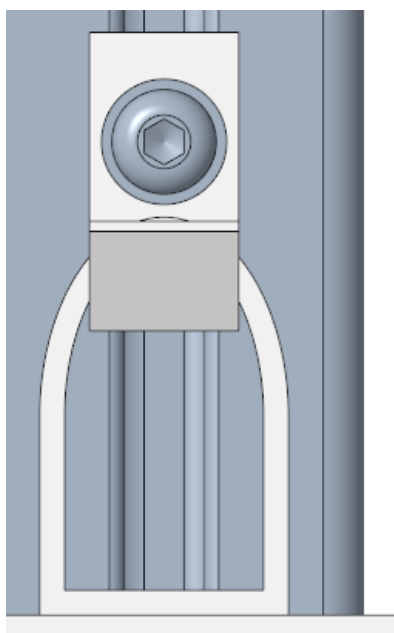
Obr. 70 Umístění příslušenství

Veškeré příslušenství se nachází ve spodní části rámu. Řídící jednotky a pedanty je možné umístit na spodní desku, také je možné pedant R28TB umístit na háček viz. Obr. 72.



Obr. 71 Připojení úpravny stlačeného vzduchu

Pro připojení stlačeného vzduchu k pracovišti bylo také použito připojovací desky, která je zde připojena pomocí dvou šroubu M6 a maticových kamenů.

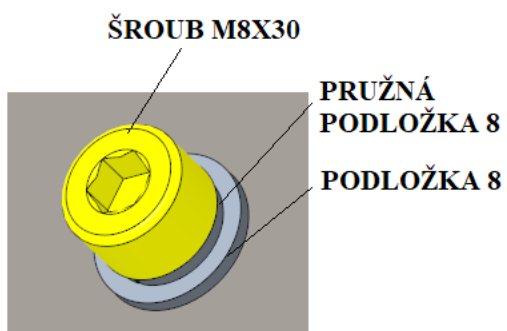


Obr. 72 Detail umístění R28TB

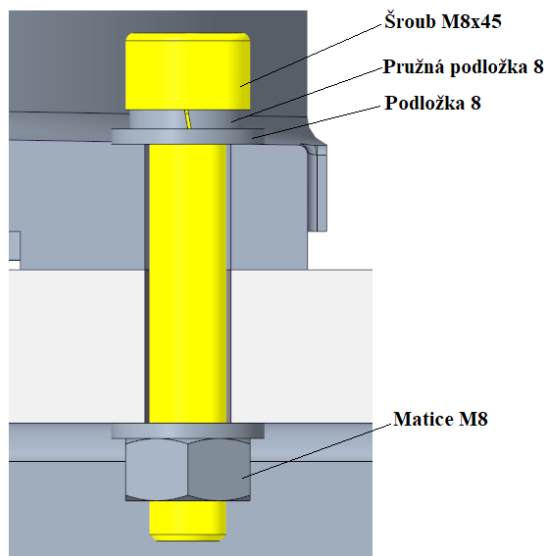


Obr. 73 Umístění robotu.

Oba roboti jsou spojení s rámem pomocí hliníkových desek, které jsou k rámu připojeny pomocí 4 šroubu M8x30 a maticových kamenů



Obr. 74 Detail šroubu



Obr. 75 Připojení robotu k desce.

Připojení obou robotu k 16 mm hliníkové desce je pomocí 4 šroubu M8x45 viz. Obr. 75. Šrouby budou utaženy utahovacím momentem $M_U = 35 \text{ Nm}$, tento moment byl vypočítán z největšího možného namáhání viz. Kap.7

5.1 ***Popis použitých komponent***

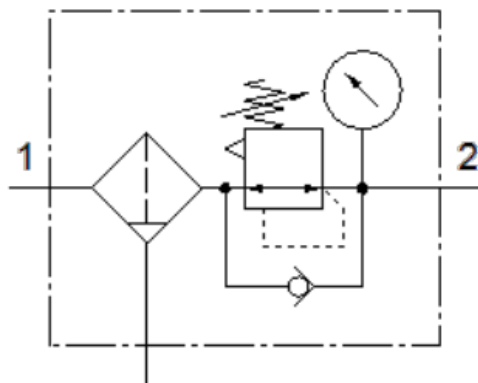
Zde bude stručný popis, jednotlivých komponent použitých na pracovišti.

5.1.1 **Hliníkový konstrukční systém**

Tento systém se vyznačuje jednoduchostí a vysokou přizpůsobivostí s ostatními konstrukčními systémy. V pracovišti jsou výhradně použity komponenty od firmy Alutec KK. Seznam všech použitých komponent je v samostatné příloze viz. Příloha C.

5.1.2 **Úprava stlačeného vzduchu.**

Pro úpravu stlačeného vzduchu na požadované parametry jako je tlak 0,6 MPa byl použitý redukční ventil s filtrem, FESTO LFR-1/4/DB-7-5-M-MINI. Důvodem použití tohoto ventilu je sjednocení prvku na katedře UCR, jelikož se tento ventil vyskytuje v robotickém pracovišti s roboty ABB IRB 140.



Obr. 76 Schéma LFR-1/4/DB-7-5-M-MINI [26]

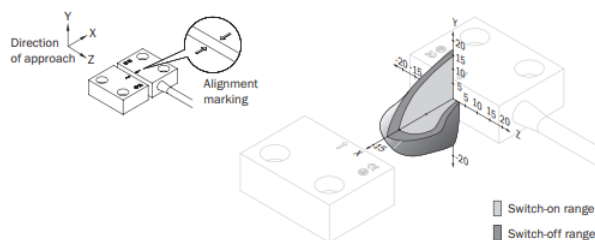
Na Obr. 76 je schéma ventilu, ventil je složen z filtru s filtrační vložkou 5 μm , odlučovače kondenzátu redukčního ventilu a manometru.

5.1.3 Magnetické zámky

Použité magnetické zámky jsou SICK RE13-SAC, těmito zámky budou vybavený oboje dveře. Připojení zámku bude pomocí 4 šroubu M4 a maticových kamenů. Důvodem použity je zase jeho výskyt na obdobném pracovišti na katedře robotiky.

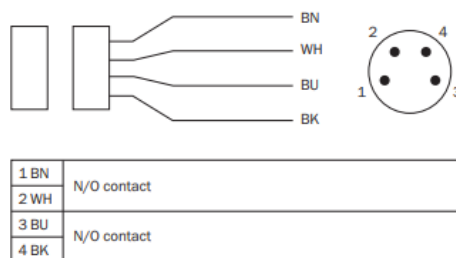
Tab. 25 Vlastnosti RE13-SAC [27]

Parametr	Hodnota
Systémový díl	Senzor a aktuátor
Princip senzoru	Jazýček
Počet spínacích kontaktů	2
Počet rozpínacích kontaktů	0
Počet signalizačních kontaktů	0
Zajištěná zapínací vzdálenost	7 mm
Zajištěná vypínací vzdálenost	20 mm
Aktivní sensorové plochy	1
Směry ovládání	3



Obr. 77 Oblast detekce [27]

REx3: obsazení přípojky senzoru (konektor M8)



Obr. 78 Schéma zapojení [27]

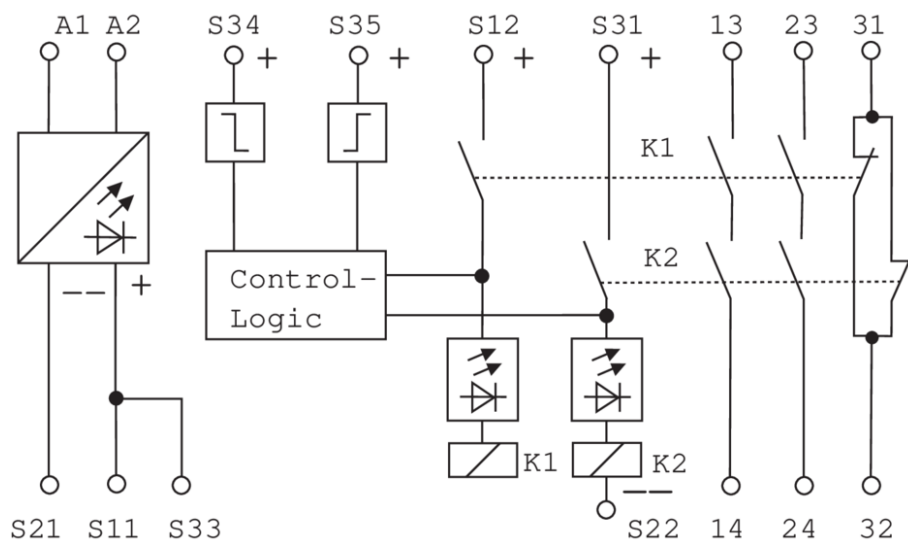
Zámky budou součástí bezpečnostního okruhu AUTO stop, zapojení bude znázorněno v kap 6.2

5.1.4 Relé

Pro zapojení dvojice bezpečnostních okruhu budou použity bezpečnostní relé SICK UE43-2MF.

Tab. 26 technické údaje UE43-2MF [27]

Parametr	hodnota
Použití	Vyhodnocovací jednotka
Úroveň integrity bezpečnosti	SIL3 (IEC 61508) SILCL3 (EN 62061)
Kategorie	4 (EN ISO 13849)
Úroveň bezpečnosti	PL e (EN ISO 13849)
Monitorování senzoru	Monitorování souslednosti Monitorování sekvence Detekce zkratu
Typická doba odezvy	25 ms
Počet spínacích kontaktů	2
Šířka pouzdra	22,5 mm



Obr. 79 Schéma zapojení UE43-2MF [28]

6 Zapojení bezpečnostních okruhu

Pro nízké znalosti bezpečnostních okruhů pro robotické pracoviště jsem využil jako vzor realizované okruhy na výukových pracovištích s IRB140. Tyto okruhy byly vytvořeny a realizovány v diplomové práci Ing. Michala Vocetky [5]. Okruhy a jejich zapojení jsou modifikovány pro použití s kontroléry Mitsubishi.

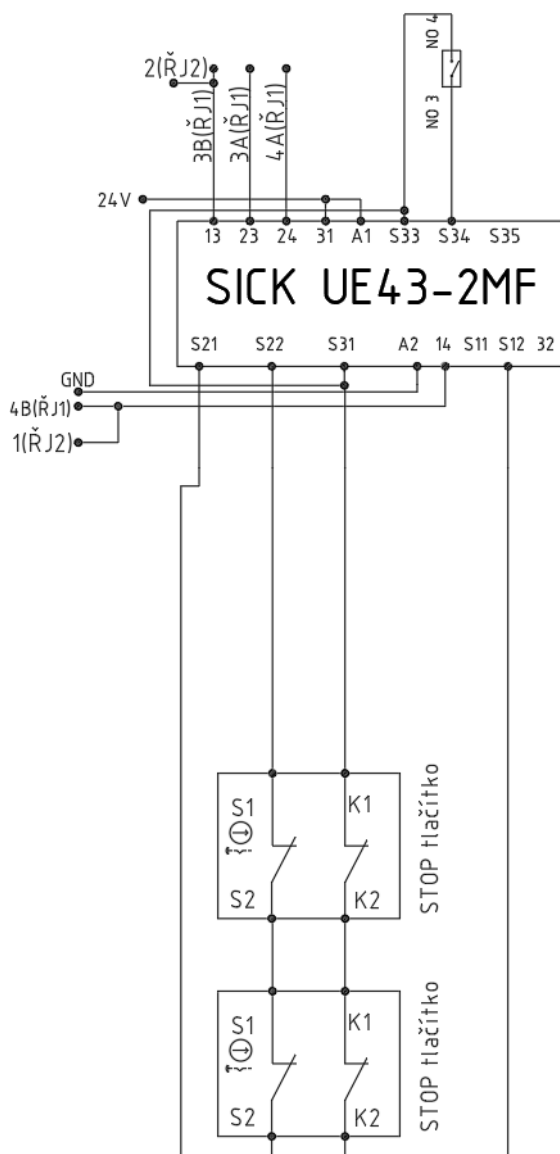
Bezpečnostní okruhy jsou dva. Okruh Emergency STOP, jež jsou součástí dva stop tlačítka a okruh AUTO STOP, kde jsou použity magnetické zámky dveří SICK RE13 SAC, když jsou roboti v automatickém režimu. Každý okruh bude zapojen do samostatného Relé SICK UE43-2MF. [5]

6.1 **Emergency STOP**

Okruh zajišťující, že při sepnutí nouzového bezpečnostního tlačítka se roboti zcela zastaví. V tomto případě nedojde jenom k vypnutí servopohonu, ale také k použití brzdy. Toto náhle zastavení má nežádoucí vliv na mechanické části robotu. Využití tohoto okruhu je jenom v situacích ohrožující zdraví člověka. [5]

Na Obr. 80 je schéma zapojení okruhu.

- 3 A,3B,4A a 4B jsou svorky řídicí jednotky CR1DA-771 [3]
- 1 a 2 jsou svorky řídicí jednotky CR1-571 [2]



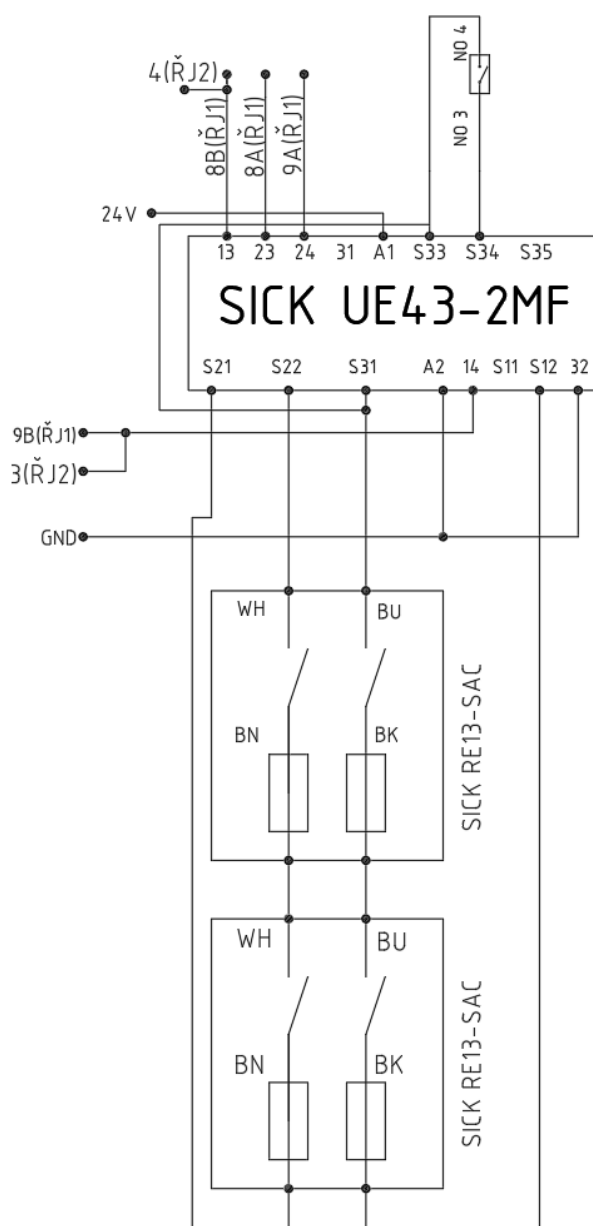
Obr. 80 Schéma zapojení Emergency stop [5]

6.2 AUTO STOP

Tento okruh zajišťuje, že při otevření dveří se rozepne kontakt na magnetickém zámku a dojde k zastavení robotu. Oproti předchozímu bezpečnostnímu okruhu, nedochází k zapnutí magnetických brzd, to má za následek menší zatížení mechanických částí robotu. [5]

Schéma zapojení okruhu je na Obr. 81

- 8A,8B,9A a 9B jsou svorky řídicí jednotky CR1DA-771 [3]
- 3 a 4 jsou svorky řídicí jednotky CR1-571 [2]



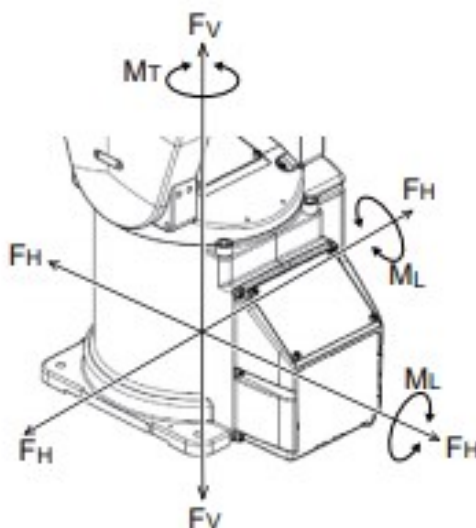
Obr. 81 Schéma okruhu AUTO STOP [5]

7 Výpočet kontrolního uzlu

V této kapitole bude stanoven potřebný utahovací moment M_U šroubu M8, aby bylo zajištěno bezpečné spojení robotu a hliníkové desky. Z pravidla tento údaj, uvádá výrobce v příslušném instalačním manuálu. Roboti jsou, ale už starší a tento údaj není dostupný.

Připojení obou robotu je identické a to pomocí 4 šroubu M8, výpočet M_U bude stanoveno z maximálního zatížení robotu RV-2SD, protože tento robot má větší nosnost.

Protože se jedná o starší typ robotu, nebylo možné získat informace o maximálním zatížení, jež působí na robota. Zatížení bylo získané z novějšího typu robota RV-2FR se stejnými parametry



Obr. 82 Zatížení robotu [29]

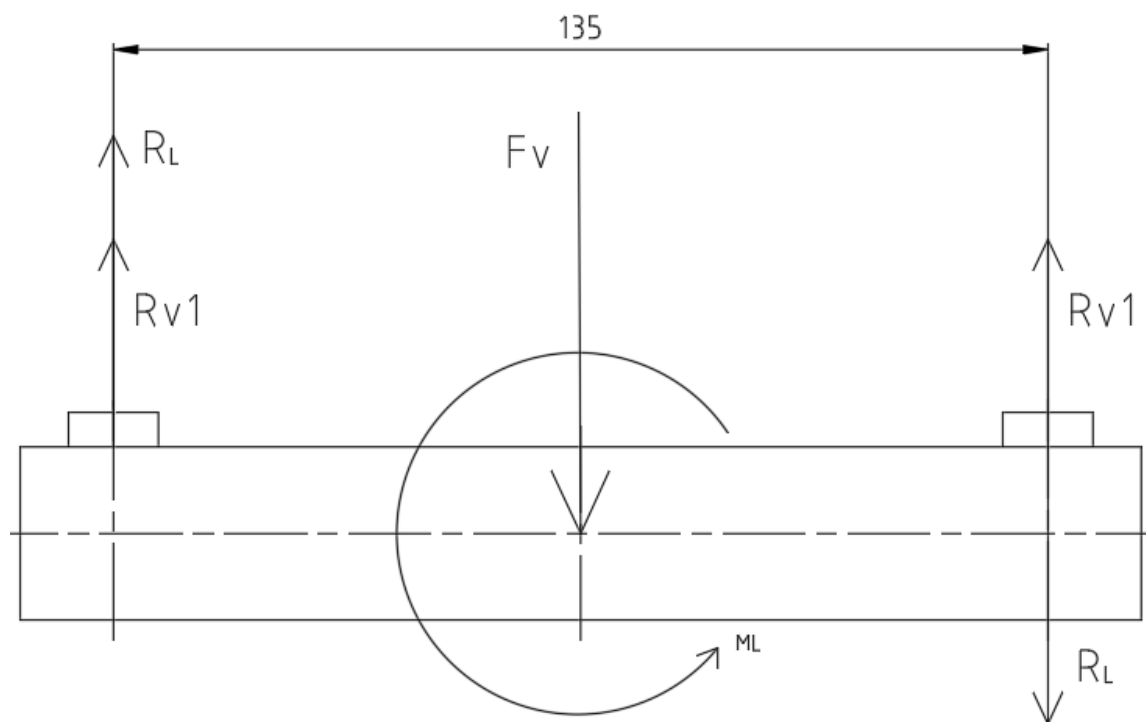
Tab. 27 Hodnoty zatížení [29]

Zatížení	Hodnota	Jednotka
Falls moment: M_L	240	Nm
Torsion moment: M_T	150	Nm
Horizontal translation force: F_H	700	N
Vertical translation force: F_V	820	N

Obr. 83 Síly působící na robota

7.1 Stanovení reakcí v ose šroubu

Síla F_V se rozloží rovnoměrně do všech 4 šroubu, momenty M_{Lx} a M_{Ly} způsobují rotaci desky kolem osy x a y, aby nedocházelo k naklonění desky musí proti momentu působit reakce ve šroubu, působící proti tomuto momentu.



Obr. 84 Reakce působící v ose šroubu

7.1.1 Výpočet reakce na Sílu F_V

$$R_{v1} = \frac{F_V}{i} [N] \quad (4)$$

Kde

F_V – Síla působící na podložku v ose z

i – Počet šroubu

$$R_{v1} = \frac{820}{4} = 205 \text{ N}$$

7.1.2 Výpočet reakce na moment R_L

$$M_L = R_L \cdot \frac{a}{2} [Nm] \quad (5)$$

Kde

M_L – Moment způsobující rotaci pdoložky kolem osy x a y

R_L – Reakce v ose šroubu na moment M_L

a – Rozteč šroubu

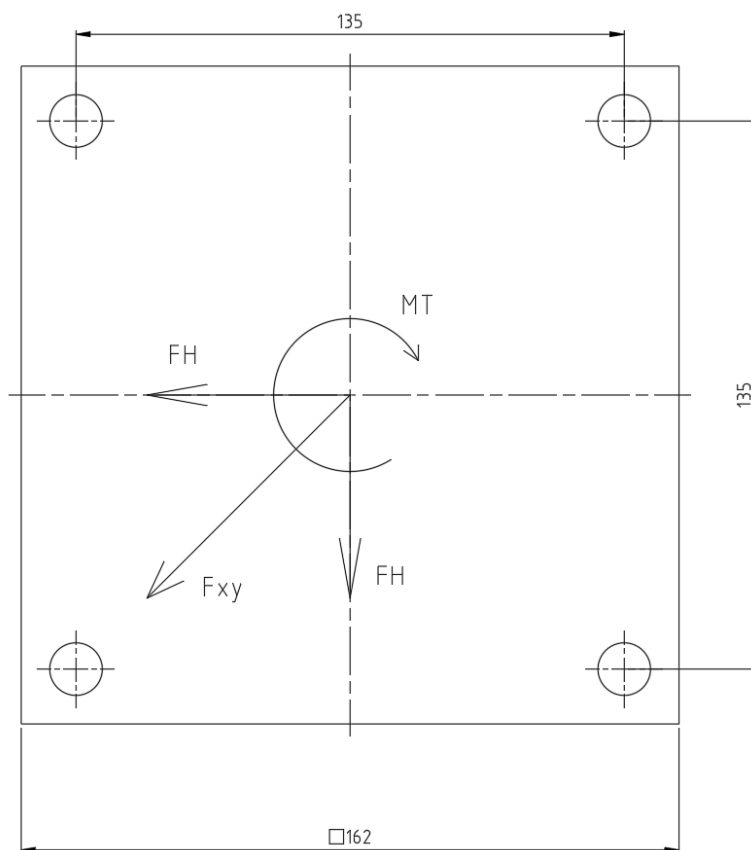
$$M_L = R_L \cdot \frac{a}{2} \Rightarrow R_L = \frac{2 \cdot M_L}{a}$$

$$R_L = \frac{2 \cdot 240}{0,135} = 3556 \text{ N}$$

Deska je symetrická proto platí $R_{Lx} = R_{Ly}$

7.2 Stanovení reakce kolmých na osu šroubu

Moment M_T a F_{Hx} a F_{Hy} působí na šroub kolmo na jeho osu.



Obr. 85 Síly a moment působící kolmo na osu šroubu

7.2.1 Výpočet reakce na síly F_{Hx} F_{Hy}

$$R_{xy} = \sqrt{F_H^2 + F_H^2} [N] \quad (6)$$

Kde

F_H – Síla působící v ose x a y

$$R_{xy} = \sqrt{700^2 + 700^2} = 990 \text{ N}$$

7.2.1.1 Rozložení reakce R_{xy} na 1 šroub

$$R_{xy1} = \frac{R_{xy}}{i} [N] \quad (7)$$

Kde

i – počet šroubu

$$R_{xy1} = \frac{990}{4} = 247,5 \text{ N}$$

7.2.2 Výpočet reakce na krouticí moment M_T

$$R_T = \frac{M_T}{R \cdot i} [N] \quad (8)$$

Kde

M_T – Krouticí moment

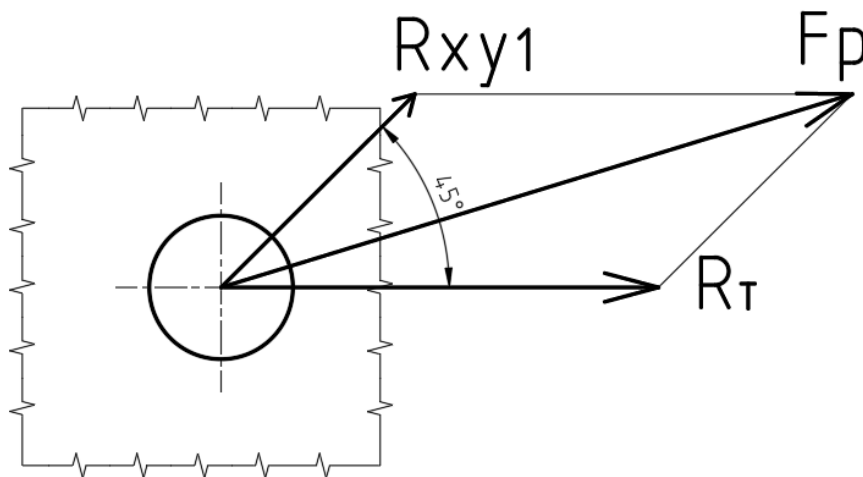
R – poloměr kružnice na které leží šrouby

i – počet šroubu

$$R_T = \frac{150}{0,095 \cdot 4} = 395 \text{ N}$$

7.2.3 Stanovení síly F_p

Síla F_p bude stanovena pomocí kosinový věty.



Obr. 86 Nejvyšší kolmá síla v nejhorším možném případě

$$F_p = \sqrt{R_{xy1}^2 + R_T^2 + 2 \cdot R_{xy1} \cdot R_T \cdot \cos \alpha} \text{ [N]} \quad (9)$$

Kde

R_{xy1} – Reakce v 1 šroubu (7)

R_T – Reakce na krouticí moment M_T (8)

α – Úhel mezi R_{xy1} a R_T

$$F_p = \sqrt{247,5^2 + 395^2 + 2 \cdot 247,5 \cdot 395 \cdot \cos 45} = 596,3 \text{ N} = 600 \text{ N}$$

7.2.4 Stanovení předepjaté síly F_0 z radiální provozní síly F_p

U šroubového spoje je nežádoucí, aby došlo k pohybu mezi spojovanými částmi. K zamezení tohoto pohybu je zapotřebí vyvodit dostatečnou předepjatou sílu F_0 , která vyvolá mezi spojovanými částmi tření.

Předepjatou sílu F_0 určíme z podmínky pro bezpečný přenos provozní příčné síly.

$$F_p^\perp < F_T \quad (10)$$

Kde

F_p^\perp – Příčna provozní síla

F_T – Třecí síla

$$k \cdot F_p^\perp = F_0 \cdot f \quad (11)$$

Kde

k – bezpečnost proti prokluzu spojovaných částí, volí se $k \geq 1,3$ volím $k = 1,3$

f – součinitel smykového tření, volím 0,47 (hliník a ocel) [30]

F_0 – Předepjatá síla

$$F_0 = \frac{k \cdot F_p^\perp}{f} = \frac{1,3 \cdot 600}{0,47} = 1660 \text{ N}$$

7.2.5 Výpočet celkové předepjaté síly

Celkovou předepjatou sílu, získáme ze součtu všech sil působících v ose šroubu

$$F_{0V} = F_0 + R_{v1} + 2 \cdot R_L \text{ [N]} \quad (12)$$

F_0 – Předepjatá síla (11)

R_{v1} – Reakce na sílu F_v , působící v ose 1 šroubu (4)

R_L – Reakce na klopný moment M_L (5)

$$F_{0V} = 1660 + 205 + 2 \cdot 3556 = 8977 \text{ N}$$

7.2.6 Pevnostní kontrola šroubu

7.2.6.1 Kontrola šroubu na tah

$$\sigma_t = \frac{F_{0V}}{S} [MPa] \quad (13)$$

Kde

F_{0V} – Celková předepjata síla (12)

S – Plocha jádra šroubu

$$\sigma_t = \frac{F_{0V}}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}}$$

Kde

d_3 – Malý průměr šroubu

$$\sigma_t = \frac{9870}{\frac{\pi \cdot 6,466^2}{4}} = 273 MPa$$

7.2.6.2 Kontrola šroubu na krut

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} [MPa] \quad (14)$$

Kde

M_k – kroutící moment

W_k – Modul pružezu v krutu

$$\tau = \frac{F_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi}{16} \cdot d_3^3}$$

Kde

ψ – Úhel stoupání (15)

φ' – Redukovaný třecí úhel (16)

d_2 – Střední průměr šroubu

$$\tau = \frac{8977 \cdot \operatorname{tg}(3,17 + 13) \cdot \frac{7,188}{2}}{\frac{\pi}{16} \cdot 6,466^3}$$

$$\tau = 176 MPa$$

$$\varphi' = \operatorname{arctg} \left(\frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} \right) [^\circ] \quad (15)$$

Kde

f_z – součinitel smykového tření závitu, volím 0,2 [31]

α – Úhel profilu metrického závitu

$$\varphi' = \operatorname{arctg} \left(\frac{0,2}{\cos 30^\circ} \right) = 13^\circ$$

$$\psi = \operatorname{arctg} \left(\frac{p_h}{\pi \cdot d_2} \right) [^\circ] \quad (16)$$

Kde

p_h – Stoupani závitu

$$\psi = \operatorname{arctg} \left(\frac{1,25}{\pi \cdot 7,188} \right) = 3,17^\circ$$

7.2.7 Určení bezpečnosti šroubu

$$k_s = \frac{Re}{\sigma_{red}} [-] \quad [17]$$

Kde

Re – Mez kluzu, předpokládám šroub 8.8, $Re = 9 \cdot 8 = 720 \text{ MPa}$

σ_{red} – Pevnostní kontrola podle Guesta

$$k_s = \frac{Re}{\sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau^2}} = \frac{720}{\sqrt{273^2 + 4 \cdot 176^2}} = 1,6 \leq 1,5$$

Bezpečnost vyšla 1,6 což splňuje podmínku. Reálné zatížení šroubového spoje se bude pohybovat maximálně na polovině této hodnoty, jelikož se jedná o výukové pracoviště.

7.2.8 Výpočet utahovacího momentu

$$M_U = M_{TZ} + M_{TM} \text{ [Nmm]} \quad (18)$$

M_{TZ} – Třecí moment v závitech

M_{TM} – Třecí moment pod hlavou šroubu

$$M_{TZ} = F_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} \quad (14)$$

$$M_{TM} = F_0 \cdot f_m \cdot \frac{(D_d + D_{SK})}{4} \quad (19)$$

Kde

f_m – Součinitel smykového tření v kontaktu matice a podložky, volím 0,43 [30]

D_d – Velikost díry v přírubě

D_{SK} – Průměr kružnice určen velikosti otvoru utahovacího klíče

$$M_U = F_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} + F_0 \cdot f_m \cdot \frac{(D_d + D_{SK})}{4}$$

$$M_U = 8977 \cdot \operatorname{tg}(3,17 + 13) \cdot \frac{7,188}{2} + 8977 \cdot 0,43 \cdot \frac{(9 + 13)}{4}$$

$$M_U = 30,6 \text{ Nmm} \Rightarrow \text{volím } M_U = 35 \text{ Nm}$$

Tento utahovací moment zajistí bezpečné spojení robotu z hliníkovou desku. Tímto momentem budou utažené i šrouby druhého robotu RV-1A

Závěr

Výsledkem této bakalářské práce je návrh výukového robotického pracoviště. Vytvořil jsem rešerši, která se týkala dostupných výukových robotických pracovišti na trhu, na uspořádání robotu, na konstrukci robotických buněk a na bezpečnostní prvky robotizovaných pracovišť.

Požadavkový list byl vytvořen na základě rešerše a podmínkách jež zadala katedra robotiky.

Celkem, byly vytvořeny 3 varianty lišící se konstrukcí a bezpečnostními prvky. První z variant byla montovaná hliníková konstrukce rámu s použitým zabezpečením ve formě ochranné konstrukce, magnetických zámku a stop tlačítek. Druhá z variant měla svařovaný ocelový rám a k zabezpečení byli zde použity světelné závěsy a stop tlačítka. Poslední z variant měla rám taktéž svařovaný, ale byli zde použity hliníkové profily a zabezpečení pracoviště bylo formou laserových skeneru a stop tlačítek.

Výběr optimální varianty byl realizován pomocí vícekritériální analýzy. Varianty hodnotily celkově 3 lidé. Já, Ing. Michal Vocetka a Ing. Daniel Huczala. Ve všech třech hodnoceních vyšla nejlépe první varianta.

Vybraná varianta se skládá z montovaného hliníkové rámu, který je vytvořen z profilu od firmy Alutec. Bezpečnostní prvky jsou ochranná konstrukce, která je taktéž z hliníkových profilu Alutec, magnetických zámku a stop tlačítek. Použité komponenty jako jsou např. úprava stlačeného vzduchu nebo již zmíněné magnetické zámky jsou použity z obdobného pracoviště s robotem ABB IRB 140, jež se nachází na UCR. Detailní 3D model pracoviště byl vytvořen v programu CREO 5.

Pracoviště má dva bezpečnostní okruhy. AUTO stop, kde jsou zapojeny magnetické zámky a Emergency stop v němž jsou zapojeny stop tlačítka. Pro nízkou znalost v tomto směru, bylo řešení zapojení těchto okruhu převzato z diplomové práce Ing. Michala Vocetky a modifikováno pro použití s kontroléry Mitsubishi.

Výpočet byl proveden na kontrolu šroubového spoje, který slouží ke spojení robotu s hliníkovou deskou. Byla zde stanovena bezpečnost z maximálního možného zatížení a také výpočet potřebného utahovacího momentu šroubového spoje, aby došlo k bezpečnému spojení.

Součástí práce je také výkresová dokumentace v zadaném rozsahu a specifikace nakupovaných komponent.

Seznam použité literatury

- [1] Mitsubishi electric: Roboty MELFA [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://cz3a.mitsubishielectric.com/fa/cs/products/rbt/robot/local>
- [2] Mitsubishi: RV-1A/RV-2AJ Series, Specifications manual [online]. In: . 2002, s. 106 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: http://meltrade.hu/open_pdf.php?f=9643-rv-2sd-standard-specifications-manual-bfp-a8790-c
- [3] Mitsubishi: RV-2SD/2SDBJ, Standard Specifications manual [online]. In: . 2010, s. 136 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: http://meltrade.hu/open_pdf.php?f=9643-rv-2sd-standard-specifications-manual-bfp-a8790-c
- [4] Instruction manual: R56TB [online]. In: . 2008, s. 170 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <http://www.int76.ru/upload/iblock/70b/70b7f82d3dd8442048e64f51905a9c7f.pdf>
- [5] VOCETKA, Michal. Diplomová práce: Výukové pracoviště s průmyslovým robotem ABB IRB140 [online]. In: . 2018, s. 94 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/129724/VOC0012_FS_N2301_2301T0_13_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [6] ABB: Školní robotické pracoviště [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/czech-local/skolici-bunka>
- [7] KUKA: ready2_educate [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/ready2_use/kuka-ready2_educate
- [8] FANUC: Robotické řešení pro školy [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/robotick%C3%A9-syst%C5%99e%C5%A1en%C3%AD-pro-%C5%A1koly>
- [9] KUKA: KR QUANTEC ultra [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr-quantec-ultra>
- [10] Youtube: FANUC – spolupráce robotu [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=IjgN4sAY6js>
- [11] FANUC: Assembly robots [online]. In: . [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.fanucamerica.com/solutions/applications/assembly-robots>
- [12] Youtube: Tele-operation using two KUKA Lightweight Robots and MS Surface [online]. In: . [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=IbRjwjArg2c>
- [13] EPSON: Robotické buňky [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.zlinrobotics.cz/prumyslova-roboticka-pracoviste-s-roboty-epson>
- [14] Parmerit: Flex functional robotic cell [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.parmerit.com/portfolio/flex-functional-robotic-cell/>

-
- [15] EUCHNER: Bezpečnostní tlačítka nouzového zastavení [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <http://www.euchner.cz/produkty/bezpecnost/tlacitka-nouzoveho-zastaveni/>
- [16] SŠEaS: Magnetické kontakty [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <http://studijni-materialy.sseas.cz/bezpecnostni-systemy/magneticke-kontakty-cidla-otevreni/>
- [17] SICK: Bezdotyková Blokovací zařízení [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/blokovaci-zarizeni/bezdotykova-blokovaci-zarizeni/tr4-direct/c/g226865>
- [18] Automatizace.hw.cz: Optické senzory přiblížení – obecný popis [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2005121901>
- [19] Automatizace: Světelné bezpečnostní závěsy Omron F3SG-R [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju-tiskove-zpravy/novinka-svetelne-bezpecnostni-zavesy-omron-f3sg-r.html>
- [20] Home.zcu: Optické snímače jednocestné [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~formanek/mmvvyuka/Data/opticke_snimace/optika_jednost.htm
- [21] Automatizace.hw.cz: Jednocestné optické závory [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006070101>
- [22] Elektroprumysl: Způsoby zabezpečení strojních zařízení ochrannými prvky SICK [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/automatizace/zpusoby-zabezpeceni-strojnich-zarizeni-ochrannymi-prvky-sick>
- [23] SICK: Bezpečnostní laserový skener [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicka-ochranna-zarizeni/bezpecnostni-laserove-skenery/c/g187225>
- [24] SICK: deTec4 Core [online]. In: . 2017, s. 80 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://cdn.sick.com/media/docs/9/29/329/Operating_instructions_deTec4_Core_cs_I_M0049329.PDF
- [25] Robot Safety option: Instruction manual CR800 series controller [online]. In: . 2019, s. 114 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://eu3a.mitsubishielectric.com/fa/en/dl/12806/CR800_Controller_-_Melfa_SafePlus_Option_4F-SF002-1_Instruction_Manual_b....pdf
- [26] FESTO: LFR-1/4-DB-7-5M-MINI [online]. In: . [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.festo.com/eap/en-th/ReliabilityDatasheet/start.do?partno=539689&outputformat=pdf>
- [27] SICK: RE13-SAC [online]. In: . [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://cdn.sick.com/media/pdf/9/69/669/dataSheet_RE13-SAC_1059503_cs.pdf
-

-
- [28] SICK: UE43-2MF [online]. In: . [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://cdn.sick.com/media/familyoverview/7/67/167/familyOverview_UE43-2MF_g186167_cs.pdf
- [29] RV-FR Series: Standard Specifications Manual [online]. In: . 2020, s. 220 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://eu3a.mitsubishielectric.com/fa/en/dl/12817/RV-FR_Series_-_Standard_Specifications_Manual_bfp-a3470h.pdf
- [30] E-konstrukter: Součinitel tření [online]. 2013 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/soucinitel-treni>
- [31] KALÁB, Květoslav. Části a mechanismy strojů: Pro 2. a 3. ročník bakalářského studia. Ostrava, 2015. VŠB – Technická Univerzita Ostrava.

Přílohy

Příloha A: 3D model

Příloha B: Výkresová dokumentace

Příloha C: Seznam nakupovaných komponent

Příloha D: Jiří_Klus_BP.pdf/.docx